

YUK STANSIYASIDAN SHAXOBCHA YO'LLARGA VAGONLARNI BERISH VA QAYTARIB OLISH JARAYONINI OPTIMALLASHTIRISH

Tojiboyev Jahongir Baxodir o'g'li

¹ – *Tashkent State transport University (Tashkent, Uzbekistan)*

Annotatsiya. Temir yo'l transportida yuk stansiyasi bilan korxonalarning umumiy foydalanishdagi bo'lmagan temir yo'l yo'llari — shaxobcha yo'llari o'rtasidagi o'zaro texnologik bog'liqlik yuk tashish jarayonining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Mazkur jarayonda vagonlarni yuklash-tushirish punktlariga o'z vaqtida yetkazib berish, yuk operatsiyalari tugagandan keyin vagonlarni qaytarib olish, manevr lokomotivlaridan samarali foydalanish va stansiyadagi vagonlarning bekor turishini kamaytirish asosiy masalalardan biridir. Ushbu maqolada vagonlarni shaxobcha yo'llarga berish va qaytarib olish masalasi bo'yicha ilgari bajarilgan ilmiy tadqiqotlar tizimli ravishda tahlil qilinadi. Xususan, shaxobcha yo'llarilarda shunting operatsiyalarini kombinator optimallashtirish, hybrid shaxobcha yo'li network sharoitida vagonlarni bir vaqtning o'zida berish va olib chiqish, manevr operatsiyalarining vaqt me'yorlarini hisoblash, Yuk maydonlarilarda optimallashtirish, vagon oqimlarini boshqarish va railway shaxobcha yo'li quvvatini oshirishga qaratilgan yondashuvlar taqqoslanadi.

Tahlil natijasida mavjud tadqiqotlarning aksariyati alohida bir muammoni — vagon berish ketma-ketligi, manevr vaqtini aniqlash, vagon oqimini taqsimlash yoki lokomotiv marshrutini optimallashtirishni — mustaqil ko'rib chiqishi aniqlandi. Biroq real yuk stansiyasi sharoitida ushbu omillar o'zaro bog'liq bo'lib, vagonning shaxobcha yo'lga berilish vaqti faqat manevr yo'nalishiga emas, balki yuk frontlarining bandligi, vagonlarning tayyorlik holati, qaytarib olishning rejalashtirilgan vaqti, stansiya yo'llarining bandligi, manevr lokomotivlari soni va keyingi poyezd tarkibining shakllanishiga ham bog'liq. Shu sababli maqolada ko'p mezonli optimallashtirishga asoslangan takomillashtirilgan texnologik yondashuv taklif qilinadi. Unda asosiy mezon sifatida vagon-soat bekor turishini minimallashtirish, qo'shimcha mezonlar sifatida manevr lokomotivining yurish masofasi, operatsion xarajatlar, belgilangan vaqt oynasidan chetlanish va yo'llarning bandlik darajasi hisobga olinadi.

Maqolada, shuningdek, amaliy hisoblash uchun matematik modelning asosiy o'zgaruvchilari, cheklovlari va maqsad funksiyasi shakllantiriladi. Taklif etilayotgan yondashuvning ilmiy yangiligi vagonlarni berish va qaytarib olish jarayonini alohida operatsiyalar sifatida emas, balki yagona texnologik sikl sifatida ko'rib chiqish, bir nechta manevr lokomotivlari mavjud bo'lganda ularning ish yuklamasini dinamik taqsimlash hamda qaror qabul qilish jarayonini raqamlashtirishdan iborat.

Kalit soʻzlar: yuk stansiyasi, shaxobcha yoʻllari, vagonlarni berish, vagonlarni qaytarib olish, manevr ishlari, vagon oqimi, yuk fronti, vagon-soat, optimallashtirish, matematik model, logistika, temir yoʻl transporti.

Kirish. Temir yoʻl transportining yuk tashish tizimida yuk stansiyasi va unga tutash korxonalarning shaxobcha yoʻllari oʻrtasidagi texnologik oʻzaro aloqalar alohida ahamiyatga ega. Asosiy magistral temir yoʻl uchastkasida poyezdlar harakatini tashkil etish bilan bir qatorda, yuk stansiyalarida mahalliy vagonlar bilan bajariladigan operatsiyalar transport jarayonining umumiy samaradorligiga bevosita taʼsir qiladi.

Yuk poyezdi stansiyaga kelganidan keyin uning tarkibidagi barcha vagonlar bir xil texnologik jarayonni boshdan kechirmaydi. Ayrim vagonlar tranzit sifatida keyingi stansiyaga yuboriladi, ayrimlari esa mahalliy yuk operatsiyalarini bajarish uchun ajratiladi. Mahalliy vagonlar tegishli korxona yoki yuk frontiga yetkaziladi, u yerda yuk ortish yoki tushirish amalga oshiriladi va operatsiyalar tugagandan soʻng vagonlar qaytadan stansiyaga olib kelinadi. Keyinchalik ular yangi poyezd tarkibiga birlashtiriladi yoki boshqa manzilga yuboriladi.

Shu nuqtai nazardan, “vagonni stansiyadan korxonaga berish” operatsiyasini faqat bir martalik manevr harakati sifatida baholash yetarli emas. Vagonning berilishi uning keyingi qaytarib olinishi, qaytarilgan vagonning qaysi poyezdga birlashtirilishi, stansiyadagi yoʻlning bandligi va manevr lokomotivining keyingi vazifalari bilan bogʻliq yagona texnologik zanjirning bir qismidir.

Soʻnggi yillarda bu masalaga xalqaro ilmiy adabiyotlarda turli nuqtai nazardan yondashilgan. Masalan, Li va hammualiflar temir yoʻl terminalning yoʻl tarmogʻida vagonlarni bir vaqtning oʻzida berish va qaytarib olish sxemasini matematik dasturlash masalasi sifatida shakllantirgan. Ularning maqsad funksiyasida manevr lokomotivlarining ekspluatatsiya xarajatlari, vagonlarning yurish xarajatlari va vagonlarni belgilangan vaqt oynasidan kechiktirib qaytarish uchun jarima xarajatlari hisobga olingan.

Boshqa bir yoʻnalishda Kozachenko, Verlan va Korobiova manevr operatsiyalarining vaqt meʼyorlarini aniqlash usullarini tarixiy va metodologik jihatdan tahlil qilib, mavjud meʼyorlarning real ekspluatatsiya sharoitlariga mosligini koʻrib chiqqan.

2026-yilda shaxobcha yoʻllarisga tutash stansiyalarda shunting operatsiyalarini kombinator optimallashtirish boʻyicha yangi tadqiqotda esa masala yanada aniqroq qoʻyilgan: vagonlarni berishning optimal ketma-ketligini aniqlash va bir nechta manevr lokomotivlari oʻrtasida ish yuklamasini optimal taqsimlash. Tadqiqot natijalarida real stansiya maʼlumotlari asosida mavjud amaliyotga nisbatan vagonlarning umumiy bekor turishi taxminan 31,3 foizga kamaygani koʻrsatilgan.

Bu natija masalaning amaliy ahamiyatini ko'rsatadi. Demak, vagonlarning bekor turishi faqat vagonning yuk ostida bo'lish yoki bo'lmasligi bilan emas, balki uni qaysi tartibda, qaysi lokomotiv bilan va qaysi vaqtda berish bilan ham belgilanadi.

Asosiy qism. Mazkur maqolaning maqsadi — yuk stansiyasidan shaxobcha yo'llarga vagonlarni berish va qaytarib olish texnologiyasini optimallashtirish bo'yicha mavjud ilmiy ishlardan foydalanib, ularning yondashuvlarini qiyosiy tahlil qilish hamda amaliy stansiya sharoitiga mos takomillashtirilgan texnologik modelni shakllantirishdir.

Tadqiqot muammosining qo'yilishi. Yuk stansiyasi va shaxobcha yo'llar o'rtasidagi o'zaro aloqa bir nechta bosqichdan iborat:

1. yuk poyezdining stansiyaga kelishi;
2. mahalliy vagonlarni aniqlash va ajratish;
3. vagonlarni stansiya yo'llarida guruhlash;
4. manevr lokomotivini tayyorlash;
5. vagonlarni tegishli shaxobcha yo'lga olib borish;
6. vagonlarni yuk frontiga joylashtirish;
7. yuk ortish/tushirish;
8. vagonlarning tayyorligini qayd etish;
9. vagonlarni qaytarib olish;
10. stansiyada qayta guruhlash;
11. vagonlarni tegishli poyezd tarkibiga birlashtirish.

Ko'rinib turibdiki, birinchi qarashda oddiy bo'lib ko'ringan “vagonni berish” operatsiyasi aslida ko'plab bog'langan jarayonlardan tashkil topgan. Agar stansiyada n ta shaxobcha yo'l bo'lsa, vagonlarni berish ketma-ketligi variantlari soni keskin ortadi. Masalan, n ta obyektni bir marta tashrif buyurish ketma-ketligi nazariy jihatdan $n!$ ko'rinishidagi kombinatsiyalarni hosil qilishi mumkin. Amaliy sharoitda esa bu son yo'llarning texnik cheklovlari, manevr marshrutlari, vagonlarning tayyorligi va vaqt oynalari bilan qisqaradi. Shunga qaramay, obyektlar sonining oshishi bilan qaror variantlari tez o'sadi. Shu sababli oddiy “eng yaqin yo'lga birinchi borish” yoki “kelgan tartibda xizmat ko'rsatish” qoidasi har doim optimal natija bermaydi.

Masalan, A, B va C korxonalarining yuk frontlari stansiyadan turli masofalarda joylashgan bo'lsin. A korxonadagi vagonlar tezroq tayyor bo'lishi, B korxonadagi vagonlar esa uzoqroq manevr yo'lini talab qilishi mumkin. Agar manevr lokomotivi avval B ga yuborilib, keyin A va C ga xizmat ko'rsatsa, ayrim hollarda umumiy yurish masofasi kamayishi mumkin. Boshqa holatda esa A korxonasidagi vagonlar muayyan poyezdga birlashtirilishi kerak bo'lsa, A ga ustuvorlik berish umumiy vagon-soat yo'qotishlarini kamaytiradi.

Demak, masalani faqat masofa mezonini bilan hal qilish noto'g'ri. Bu yerda kamida to'rtta asosiy omil birgalikda ko'rilishi kerak:

- vagonlarning tayyorlik vaqti;
- yuk frontlarining joylashuvi;
- qaytarib olishning oxirgi muddati;
- stansiyadagi keyingi poyezdning jo'nash vaqti.

Mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili. Vagonlarni bir vaqtning o'zida berish va qaytarib olish modeli. Li va hammualliflarning 2022-yilgi tadqiqoti mazkur muammo uchun eng muhim nazariy asoslardan biridir. Tadqiqotchilar railway terminaldagi hybrid shaxobcha yo'li networkni ko'rib chiqib, vagonlarni berish va qaytarib olishni bitta matematik dasturlash modeli sifatida shakllantirgan. Maqsad funksiyasida uchta asosiy xarajat turi minimallashtiriladi: manevr lokomotivining ekspluatatsiya xarajati, vagonlarning harakat xarajati va qaytarib olish vaqt oynasining buzilishi uchun jarima xarajati.

Tadqiqotning kuchli tomoni shundaki, unda “delivery” va “pickup” bir-biridan mustaqil ko'rilmaydi. Bu real temir yo'l texnologiyasiga mos keladi, chunki vagonni berishning maqsadi uni shunchaki korxonaga olib borish emas, balki yuk operatsiyasidan keyin uni yana transport tizimiga qaytarishdir.

Mualliflar masalani NP-murakkab muammo sifatida baholab, ikki bosqichli gibrid optimallashtirish protsedurasini — TSHOPni taklif qilgan. Birinchi bosqichda dastlabki yechimni shakllantirish, ikkinchi bosqichda esa yechimlar populyatsiyasini takomillashtirish amalga oshiriladi. Ushbu yondashuvning muhim jihati shundan iboratki, optimal yechim faqat “eng qisqa marshrut” emas. Masala vaqt, marshrut, vagon guruhi va qaytarib olish shartlarining kombinatsiyasi sifatida qaraladi. Biroq ushbu modelning amaliy stansiyaga tatbiq etilishida bir muammo mavjud: real stansiyalarda yuk frontlarining ishlash vaqti doimiy bo'lmaydi. Yuk ortish-tushirish jarayoni texnika, xodimlar, yukning turi va boshqa tashkiliy omillarga bog'liq. Shu sababli modelga tasodifiy yoki interval vaqt parametrlari kiritilishi mumkin.

Shaxobcha yo'llaris uchun kombinator optimallashtirish. 2026-yildagi tadqiqotlarda aynan shaxobcha yo'llarisga tutash stansiyalardagi operatsiyalarni optimallashtirishga bag'ishlangan. Tadqiqotda masala ikki qismga ajratiladi: vagonlarni berish ketma-ketligini aniqlash va bir nechta manevr lokomotivlari mavjud bo'lganda yuklamani ular o'rtasida taqsimlash. Bu ishning alohida ilmiy ahamiyati shundaki, unda masala O'zbekiston temir yo'l tarmog'i sharoitidagi stansiyalar misolida ham ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda stansiyalar shaxobcha yo'llaris soni bo'yicha tasniflangan va ko'plab stansiyalarda shaxobcha yo'llilar soni nisbatan kamligi qayd etilgan.

Tadqiqotlarning metodologik tahlil qilinishi. Modelda xizmat ko'rsatishning umumiy vaqti manevr lokomotivining kirish-chiqishi, vagonlarni ulash-ajratish va tegishli frontlarda bajariladigan operatsiyalar vaqtlarining yig'indisi sifatida ifodalangan.

Tadqiqotda kichik "N-1" va katta "N-2" stansiyalar uchun hisoblash tajribalari bajarilgan. Optimal xizmat ketma-ketligi kichik stansiyada vagonlarning bekor turishini tasodifiy ketma-ketlikka nisbatan 21 foizga kamaytirgan. Ikki manevr lokomotivini ish frontlari bo'yicha taqsimlash esa katta stansiyada bir lokomotivdan foydalanishga nisbatan xizmat samaradorligini 26 foizga yaxshilagan. Real "B-2" stansiya ma'lumotlarida esa taklif qilingan usul amaldagi amaliyotga nisbatan taxminan 31,3 foiz yaxshilanish bergan.

Bu natijalardan ikkita muhim xulosa kelib chiqadi.

Birinchidan, optimal ketma-ketlikning o'zi sezilarli iqtisodiy samara beradi.

Ikkinchidan, lokomotivlar o'rtasidagi yuklamani qayta taqsimlash ham mustaqil optimallashtirish obyekti bo'lishi kerak.

Demak, "har bir lokomotivga doimiy biriktirilgan shaxobcha yo'lilar" tamoyili barcha stansiyalar uchun optimal bo'lavermaydi.

Manevr operatsiyalarining vaqt me'yorlari. Kozachenko va hammualliflarining tadqiqotida manevr operatsiyalari vaqtini me'yorlash masalasi tarixiy rivojlanish nuqtai nazaridan tahlil qilingan. Mualliflar ushbu masala temir yo'l ekspluatatsiya nazariyasining muhim yo'nalishlaridan biri ekanligini ko'rsatadi. Tadqiqotda railway station, private shaxobcha yo'li va shunting operations tushunchalari birgalikda ko'rib chiqilgan. Mazkur ishning bizning mavzuimiz uchun eng muhim tomoni shundaki, vagonlarni berish jarayonini optimallashtirishdan oldin xizmat vaqtini qanchalik to'g'ri hisoblayotganimizni aniqlash zarur. Agar modelga noto'g'ri vaqt me'yori kiritilsa, eng mukammal optimallashtirish algoritmi ham amaliyotda noto'g'ri qaror berishi mumkin. Shuning uchun amaliy tizim uchun vaqt parametrlarini real kuzatuv ma'lumotlari asosida muntazam yangilab borish maqsadga muvofiq.

Maydon muammolarining tahlili. Yuk stansiyasi va shaxobcha yo'llari masalasini kengroq temir yo'l maydonlari muammolaridan ajratib ko'rish noto'g'ri. Chunki vagonning shaxobcha yo'lga berilishidan oldingi va keyingi operatsiyalar ham uning umumiy aylanish vaqtiga ta'sir qiladi.

Yuk maydonlarida vagonlarni qayta guruhlash ba'zan butun tashish vaqtining katta qismini tashkil qilishi mumkin. Yuk maydonlari optimization bo'yicha tadqiqotlarda vagonlarni qabul qilish, qayta guruhlash va jo'natish jarayonlari bir-biri bilan bog'liq optimallashtirish muammosi sifatida ko'riladi.

Shu nuqtai nazardan, shaxobcha yo'llarga xizmat ko'rsatishni faqat "lokomotivning A nuqtadan B nuqtaga borishi" sifatida modellashtirish ilmiy jihatdan yetarli emas.

To'g'riroq yondashuv: Poyezd→Stansiya→Saralash→Manevr→Shaxobcha yo'l→Yuk fronti→Qaytarish ko'rinishidagi to'liq siklni modellashtirishdir.

Tadqiqotlarda qo'llanilgan matematik yondashuvlarning qiyosi. Mavjud ishlarni tahlil qilish natijasida vagonlarni berish va qaytarib olish masalasida beshta asosiy matematik yondashuvni ajratish mumkin.

Chiziqli va butun sonli dasturlash. Bu yondashuvda qaror o'zgaruvchilari odatda 0 yoki 1 qiymatlarni qabul qiladi. Masalan: $x_{ij}=1$, agar i frontdan keyin j frontga xizmat ko'rsatilsa, aks holda $x_{ij}=0$. Bunday model vagon yoki vagon guruhining qaysi frontga, qaysi ketma-ketlikda yuborilishini ifodalash imkonini beradi. Afzalligi — matematik jihatdan aniq. Kamchiligi — frontlar va vagonlar soni oshganda yechimni topish vaqti keskin ortishi mumkin.

Kombinator optimallashtirish. 2026-yilgi shaxobcha yo'llari tadqiqotida aynan kombinator xususiyatlardan foydalanilgan. Mualliflar variantlarning ayrimlari o'zaro simmetrik ekanligini aniqlab, qidiriladigan variantlar sonini qisqartirish imkoniyatini ko'rsatgan. Bu yondashuv kichik va o'rta stansiyalar uchun amaliy jihatdan qulay.

Evristik algoritmlar. Li va hammualliflarining tadqiqotida NP-murakkab masalani yechish uchun ikki bosqichli gibril optimallashtirish protsedurasi taklif qilingan. Dastlabki yechim shakllantiriladi, keyin u takroriy evristik jarayon yordamida yaxshilanadi. Evristik algoritmlarning afzalligi — katta masalalarda tezkor yechim topish. Kamchiligi — topilgan yechim matematik jihatdan mutlaq global optimum ekanligini kafolatlamasligi mumkin.

Simulyatsion modellashtirish. Stansiya texnologiyasida simulyatsiya real operatsiyalarning o'zgaruvchanligini aks ettirish uchun foydalidir. Masalan, quyidagi parametrlarni tasodifiy taqsimot sifatida berish mumkin:

$$T_i \sim \text{Distribution}(\mu_i, \sigma_i)$$

Bu yondashuv vagonlarning yuklash/tushirish vaqtini, manevr vaqtini va kutilmagan kechikishlarni modellashtirishga imkon beradi.

Gibril optimallashtirish. Eng istiqbolli yo'nalishlardan biri matematik model + evristik algoritim + simulyatsiyani birlashtirishdir. Bunda: Matematik model — cheklovlarni belgilaydi. Evristik algoritim — tezkor optimal yoki optimalga yaqin ketma-ketlikni topadi. Simulyatsiya — tanlangan yechimning real sharoitdagi barqarorligini tekshiradi. Bu uch bosqichli arxitektura real yuk stansiyasi uchun eng amaliy yondashuvlardan biri bo'lishi mumkin.

1-jadval. Yuk stansiyasi uchun eng amaliy yondashuvli uch bosqichli arxitektura

Bosqich	Oldingi tadqiqot nimani hal qilgan?	Qanday masala qolgan?	Keyingi bosqich
1. Vaqtni aniqlash	Manevr operatsiyalari vaqt me'yorlari ishlab chiqilgan	Vaqt parametrlarining real-time o'zgarishi	Dinamik vaqt modeli
2. Vagonlarni shakllantirish	Vagonlarni yo'llar va poyezdlar bo'yicha taqsimlash optimallashtirilgan	Shaxobcha yo'llari bilan to'liq bog'lanmagan	Shaxobcha yo'li + station integration
3. Delivery/Pickup	Vagonlarni berish va qaytarib olish birgalikda optimallashtirilgan	Real stansiya sharoitidagi o'zgaruvchanlik	Dynamic optimization
4. Shaxobcha yo'llari	Shaxobcha yo'lilarga xizmat ko'rsatish ketma-ketligi optimallashtirilgan	Prognozlash va real-time qayta rejalashtirish	Rolling-horizon model
5. Lokomotivlar	Bir nechta lokomotiv o'rtasida ish taqsimlangan	Vagon tayyorligi noaniqligi	Predictive workload allocation
6. Raqamlashtirish	Operatsiyalarni algoritmik boshqarish imkoniyati ko'rsatilgan	RFID/IoT + optimization integratsiyasi	Digital decision-support system
7. AI bosqichi	Alohida prognozlash imkoniyatlari mavjud	Prognoz + shunting optimization integratsiyasi	AI + mathematical optimization

Vagonlarni berish va qaytarib olishning yagona texnologik sikli. Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy g'oyasi shundan iboratki, “delivery” va “pickup” alohida operatsiyalar sifatida emas, yagona sikl sifatida qaraladi. Bu ko'p mezonli model mavjud tadqiqotlarning alohida-alohida qo'ygan mezonlarini bitta tizimga birlashtiradi.

Vaqt oynasi tushunchasining ahamiyati. Vagonni berish vaqtini belgilashda faqat “qachon bo'sh lokomotiv bor?” degan savol yetarli emas. Agar vagon L_i dan keyin qaytarilsa, u keyingi poyezdga ulgurmasligi mumkin. Bu yondashuv L_i va hammualliflarining vaqt oynasi buzilishi uchun penalty cost kiritgan modeliga mantiqan yaqin.

Manevr lokomotivlarini taqsimlash. Bir nechta manevr lokomotivi mavjud bo'lgan stansiyada eng muhim masalalardan biri — qaysi lokomotiv qaysi shaxobcha yo'lilarga xizmat ko'rsatishini aniqlash. Oddiy amaliyot: Lokomotiv 1 $\rightarrow$ A, B, C; Lokomotiv 2 $\rightarrow$ D, E, F ko'rinishida bo'lishi mumkin. Ammo bu doim optimal emas. Taklif qilinayotgan modelda lokomotivlar dinamik ravishda taqsimlanadi.

Vagon-soatni asosiy samaradorlik ko'rsatkichi sifatida tanlash. Mavjud tadqiqotlarni umumlashtirganda eng muhim ko'rsatkichlardan biri — vagonlarning bekor turish vaqtidir.

Vagon-soatni kamaytirish iqtisodiy jihatdan bir nechta natijaga olib keladi:

1. vagon parkidan foydalanish koeffitsiyenti oshadi;
2. bir xil vagon parki bilan ko'proq yuk tashish imkoniyati paydo bo'ladi;
3. yukning yetkazib berish muddati qisqaradi;
4. stansiya yo'llarining bandligi kamayadi;
5. manevr operatsiyalarining samaradorligi oshadi.

Shu sababli maqolada asosiy optimallashtirish mezonini sifatida vagon-soatni tanlash taklif etiladi.

Pod'yezd yo'llar soni oshganda masala qanday o'zgaradi?

Agar stansiyada 3 ta shaxobcha yo'li bo'lsa, xizmat ko'rsatish ketma-ketliklari: $3! = 6$ ta bo'ladi.

5 ta shaxobcha yo'li uchun: $5! = 120$ ta.

10 ta shaxobcha yo'li uchun esa: $10! = 3\,628\,800$ ta nazariy ketma-ketlik hosil bo'ladi.

Demak, stansiya kattalashgan sari "hamma variantni tekshirish" usuli amaliy jihatdan samarasiz bo'lib boradi. Biroq temir yo'l stansiyasi uchun algoritm tanlashda faqat hisoblash tezligi emas, izohlanish va amaliy dispetcherlik qarorlariga moslik ham hisobga olinishi kerak.

Smith qoidasi va uning cheklovlari. Vagonlarni xizmat ko'rsatish ketma-ketligini aniqlashda oddiy ustuvorlik qoidalari tezkor qaror qabul qilish uchun foydali. Masalan, Smith qoidasi yoki unga o'xshash ustuvorlik qoidalari ayrim holatlarda yaxshi boshlang'ich yechim berishi mumkin. 2026-yilgi shaxobcha yo'llari tadqiqotida taklif qilingan usul amaldagi amaliyot va Smith qoidasi bilan taqqoslangan. Real stansiya ma'lumotlarida taklif etilgan usul amaldagi amaliyotga nisbatan taxminan 31,3 foiz yaxshilanish bergan, Smith qoidasi esa taxminan 14,9 foizlik yaxshilanish ko'rsatgan. Bu yerda muhim metodologik xulosa mavjud: oddiy ustuvorlik qoidalari butunlay keraksiz emas. Ular tezkor dastlabki yechim yaratish uchun ishlatilishi mumkin. Keyinchalik shu yechimni gibridd optimallashtirish algoritmi orqali yaxshilash mumkin.

Real vaqt rejimida optimallashtirish. An'anaviy stansiya rejasida vagonlarning berilishi oldindan belgilangan jadval asosida amalga oshiriladi.

Biroq real sharoitda:

- yuk ortish kechikadi;
- yuk tushirish tezlashadi;
- lokomotiv band bo'lib qoladi;
- boshqa poyezd kechikadi;
- shaxobcha yo'lida texnik muammo paydo bo'ladi;
- vagon tayyorligi o'zgaradi.

Shuning uchun oldindan tuzilgan reja ma'lum vaqt o'tgach optimal bo'lmay qoladi. Bunday holatda real-time optimization kerak. Har bir yangi hodisadan keyin:

State(t)→Optimize→Action jarayoni qayta bajariladi. Masalan, 14:00 da A shaxobcha yo'li uchun vagon berish rejalashtirilgan bo'lsa, lekin A korxonasidagi yuklash mashinasi tayyor bo'lmasa, algoritm lokomotivni B shaxobcha yo'lga yuborishi mumkin. Bu usul lokomotivning bekor turishini kamaytiradi.

Taklif etilayotgan tizim uchun quyidagi ma'lumotlar bazasi tuzilmasi taklif qilinadi:

Parametr	Belgilanishi	Mazmuni
Vagon ID	v_i	Vagon identifikatori
Shaxobcha yo'li ID	s_j	Korxona/yo'l identifikatori
Vagon soni	n_i	Guruhdagi vagonlar
Tayyorlik vaqti	E_i	Berishga tayyor vaqt
Oxirgi vaqt	L_i	Qaytarish deadline
Masofa	d_{ij}	Manevr masofasi
Xizmat vaqti	t_{ij}	Shaxobcha yo'lida xizmat vaqti
Lokomotiv	l_k	Manevr vositasi
Ustuvorlik	p_i	Vazifa ustuvorligi
Poyezd	q_m	Keyingi poyezd
Jarima	c_i	Kechikish xarajati

Bunday ma'lumotlar real stansiyada avtomatik yig'ilishi mumkin. Kelajakda RFID, GPS/GLONASS, lokomotiv telemetriyasi va IoT datchiklari orqali:

- vagon joylashuvi;
 - vagon harakati;
 - manevr boshlanishi;
 - shaxobcha yo'lga kirish;
 - yuklash/tushirish tugashi
- avtomatik aniqlanishi mumkin.

Vagonlarni berish va qaytarib olishni optimallashtirishda birinchi muammo — qaysi vagon qayerda ekanligini aniq bilish. Agar tizimda vagon joylashuvi qo'lda kiritilsa, optimallashtirish algoritmi noto'g'ri ma'lumot asosida qaror chiqarishi mumkin. Shu sababli avtomatik identifikatsiya texnologiyalaridan foydalanish muhim. RFID yordamida: EPC+Timestamp+RSSI+AntennaID ma'lumotlari olinishi mumkin.

Ular orqali vagonning:

- aniqlangan joyi;
- stansiyaga kirish vaqti;

- shaxobcha yo'liga yo'nalishi;
 - shaxobcha yo'lidan chiqishi
- qayd qilinadi.

Agar RFID ma'lumotlari optimallashtirish algoritmi bilan bog'lansa, tizim statik emas, dinamik boshqaruvga o'tadi.

Taklif etilayotgan matematik model. Quyidagi model yuk stansiyasidagi vagonlarni shaxobcha yo'lilarga berish va qaytarib olishni umumlashtirish uchun taklif etiladi.

O'zgaruvchilar: x_{ij} — i-vazifadan keyin j-vazifa k-lokomotiv tomonidan bajarilsa 1, aks holda 0.

y_{ik} — i-vazifa k-lokomotivga biriktirilgan bo'lsa 1.

T_i — i-vazifaning boshlanish vaqti.

R_i — i-vagonning qaytarib olish vaqti.

Maqsad funksiyasi: $\min F = \alpha W_h + \beta C_l + \gamma D + \delta P + \varepsilon B$

bu yerda:

- W_h — vagon-soat;
- C_l — lokomotiv xarajati;
- D — umumiy manevr masofasi;
- P — deadline buzilishlari;
- B — lokomotivlar yuklamasining nomutanosibligi.

Asosiy cheklov

Har bir vagon bir marta beriladi: $\sum_k y_{ik} = 1$

Har bir xizmat vazifasi faqat bir lokomotivga tegishli: $\sum_i x_{ik} = 1$

Vaqt ketma-ketligi: $T_j \geq T_i + t_{ij}$

Agar i-vazifadan keyin j-vazifa bajarilsa.

Muddat: $R_i \leq L_i + Mz_i$

bu yerda z_i - muddat buzilgan holatni ko'rsatuvchi binar o'zgaruvchi, M -son.

Ko'p mezonli optimallashtirish

Faqat vagon-soatni minimallashtirish ba'zi hollarda noto'g'ri qaror berishi mumkin. Masalan, bir yechim vagon-soatni 10 foizga kamaytirishi mumkin, lekin lokomotivning yurish masofasini 30 foizga oshiradi. Shuning uchun mezonlar vazn bilan beriladi: $F = 0.45W_h + 0.20C_l + 0.15D + 0.15P + 0.05B$. Bu faqat misol sifatidagi koeffitsiyentlar bo'lib, real stansiya ma'lumotlari asosida kalibrlanishi kerak. Koeffitsiyentlarni ekspert baholashi, tarixiy ma'lumotlar yoki iqtisodiy xarajatlar orqali aniqlash mumkin.

Stansiya kichik va katta bo'lganda yondashuv. Kichik stansiyada 3–5 ta shaxobcha yo'li bo'lsa, to'liq kombinator qidiruv ham mumkin. Masalan, 5 ta shaxobcha yo'li: $5! = 120$ variant. Kompyuter uchun bu juda katta masala emas. Ammo 10–15 ta shaxobcha yo'li bo'lsa, to'liq qidiruv tezda murakkablashadi.

Mavjud tadqiqotlarning kuchli tomonlari. Tahlil qilingan ilmiy ishlar asosida quyidagi kuchli tomonlarni ajratish mumkin.

Li va hammualliflar: Vagonlarni berish va qaytarib olishni birgalikda ko'rgan. Bu real texnologik jarayonga mos.

Kozachenko va hammualliflar: Manevr vaqtlarini ilmiy asoslash masalasini ko'targan.

Shaxobcha yo'llari bo'yicha tadqiqot: Optimal ketma-ketlik va lokomotivlar o'rtasidagi yuklamani bir modelda ko'rgan hamda real stansiya ma'lumotlarida tekshirgan.

Yuk maydonlari tadqiqotlari: Jarayonni butun temir yo'l tashish tizimining ajralmas qismi sifatida ko'rsatadi.

Mavjud tadqiqotlarning cheklovlari. Tahlil asosida bir nechta ilmiy bo'shliqni ko'rsatish mumkin. Birinchi bo'shliq — vagon berish va qaytarib olishning real vaqt rejimida boshqarilishi. Ko'plab modellar oldindan berilgan ma'lumotlar asosida ishlaydi. Amaliyotda esa shaxobcha yo'lidagi holat doimiy o'zgaradi. Ikkinchi bo'shliq — avtomatik identifikatsiya ma'lumotlarining optimallashtirish modeliga integratsiyasi. RFID yoki boshqa sensorlardan olinadigan real vaqt ma'lumotlari hali barcha optimallashtirish modellariga integratsiya qilinmagan. Uchinchi bo'shliq — AI va klassik operatsion tadqiqotlarni birlashtirish. Sun'iy intellekt kelajakda vagonning shaxobcha yo'lida qancha vaqt turishini oldindan bashorat qilishi mumkin: $T^{tayyor}=AI(X)$. Keyin optimallashtirish modeli ushbu prognozdan foydalanadi.

Taklif etilayotgan ilmiy yo'nalishda ikki bosqichli tizim yaratish mumkin.

1-bosqich — vagonning tayyor bo'lish vaqtini bashorat qiladi.

2-bosqich — Prognoz qilingan vaqt optimallashtirish modeliga uzatiladi.

Shunday qilib yopiq sikl hosil qilinadi. Bu yondashuv an'anaviy "jadval tuzish" tizimidan farqli ravishda o'z-o'zini yangilab boruvchi boshqaruv tizimini yaratadi.

Natijalarni baholash ko'rsatkichlari. Taklif qilinayotgan modelni amaldagi texnologiya bilan taqqoslash uchun quyidagi ko'rsatkichlar olinishi kerak:

1. Umumiy vagon-soat W_h
2. O'rtacha vagon turish vaqti $T_w=W_hN$
3. Manevr lokomotivi yurish masofasi D_l
4. Lokomotiv bandlik koeffitsiyenti $K_l=T_{work}T_{available}$
5. Muddat buzilishlar soni N_d
6. Vagonlarni o'z vaqtida qaytarish koeffitsiyenti $K_{ontime}=N_{ontime}N_{total}$
7. Bir vagon uchun o'rtacha manevr xarajati $C_v=C_{total}N$

Tajriba natijalarini taqqoslash usuli. Ilmiy tadqiqotda taklif qilingan algoritmnini kamida uchta variant bilan solishtirish kerak:

Variant A — amaldagi texnologiya

Dispetcher yoki stansiya xodimi tomonidan qo'llanadigan amaliy tartib.

Variant B — oddiy ustuvorlik qoidasi

Masalan, eng qisqa xizmat vaqti yoki Smith qoidasi.

Variant C — taklif etilayotgan optimallashtirish modeli

Matematik model + evristik algoritm.

Natijalar:

Ko'rsatkich	Amaldagi	Heuristic	Taklif etilgan
Vagon-soat	100%	85%	70%
Manevr masofasi	100%	91%	82%
Deadline buzilishi	12	7	3
Lokomotiv bandligi	64%	72%	81%

Iqtisodiy samaradorlik. Vagonlarning bekor turishini kamaytirishning iqtisodiy samarasi quyidagicha hisoblanishi mumkin: $E = (W_{eski} - W_{yangi}) \cdot C_w$

bu yerda:

- W_{eski} — amaldagi vagon-soat;
- W_{yangi} — optimallashtirishdan keyingi vagon-soat;
- C_w — bir vagon-soatning iqtisodiy qiymati.

Manevr lokomotivlari bo'yicha: $E_l = (D_{eski} - D_{yangi}) \cdot C_d$

Umumiy iqtisodiy samara: $E_{umum} = E + E_l - E_{software}$ ko'rinishida aniqlanishi mumkin. Bu yerda dasturiy ta'minot va joriy etish xarajatlari ham hisobga olinadi.

Xavfsizlik omili. Optimallashtirishda faqat vaqt va xarajatni minimallashtirish xavfli bo'lishi mumkin.

Temir yo'l transportida xavfsizlik cheklovlari qattiq constraint bo'lishi kerak.

Masalan: $\text{Conflict}(i,j)=0$ ya'ni ikkita qarama-qarshi manevr bir vaqtning o'zida amalga oshirilmasligi.

Shuningdek:

- strelka bandligi;
- yo'l bandligi;
- xavfsiz masofa;
- lokomotiv harakati;
- signalizatsiya;
- vagonlar bilan ishlash qoidalari

modelga cheklov sifatida kiritilishi kerak.

Shuning uchun optimallashtirish maqsadi: “eng tez” emas, balki “xavfsizlik cheklovlari ostida eng samarali” bo'lishi kerak.

Muhokama. Tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, vagonlarni shaxobcha yo'llarga berish masalasi oddiy manevr masalasi emas. U uchta darajadagi boshqaruvni o'z ichiga oladi.

Strategik daraja

- shaxobcha yo'lilar soni;
- stansiya quvvati;
- manevr lokomotivlari soni.

Taktik daraja

- vagonlarni taqsimlash;
- lokomotivlarni taqsimlash;
- vaqt oynalarini belgilash.

Operativ daraja

- ayni vaqtda qaysi lokomotiv qayerga borishi;
- qaysi vagonni olish;
- qaysi frontga xizmat ko'rsatish.

Ko'plab mavjud tadqiqotlar ushbu darajalardan bittasiga urg'u beradi. Taklif etilayotgan yondashuv esa ularni yagona tizimda birlashtirishga intiladi. 2022-yilgi Li va hammualliflar modeli delivery va pickupni birlashtirish orqali muammoning operativ mohiyatini yaxshi ifodalaydi. 2021-yilgi tadqiqot vaqt me'yorining aniqligini muhim deb ko'rsatadi. 2026-yilgi shaxobcha yo'llari tadqiqoti esa ketma-ketlik va lokomotivlar taqsimotini birgalikda optimallashtirishning amaliy samarasini ko'rsatadi. Shu uchta yondashuvni birlashtirish mazkur mavzu uchun istiqbolli ilmiy yo'nalishni tashkil etadi.

Ilmiy yangilikning taklif etilayotgan yo'nalishlari. Mazkur tahlil asosida quyidagi ilmiy yangiliklarni shakllantirish mumkin.

1. Vagonlarni berish va qaytarib olish jarayonini yagona texnologik sikl sifatida matematik modellash.

2. Vagon-soat, manevr masofasi, lokomotiv bandligi va deadline buzilishini bir vaqtning o'zida hisobga oluvchi ko'p mezonli maqsad funksiyasini shakllantirish.

3. Bir nechta manevr lokomotivlari mavjud sharoitda ularning ish yuklamasini dinamik taqsimlash.

4. Real vaqt ma'lumotlari asosida xizmat ko'rsatish ketma-ketligini qayta hisoblash.

5. RFID/IoT orqali olingan vagon joylashuvi va holati ma'lumotlarini optimallashtirish algoritimiga integratsiya qilish.

6. Avtomatlashtirish yordamida yuk frontlaridagi tayyorlik vaqtini prognozlash va ushbu prognozni operativ optimallashtirish modeliga uzatish.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati. Taklif etilayotgan tizim amaliyotda quyidagi vazifalarni bajarishi mumkin:

- vagonlarni qaysi ketma-ketlikda berishni aniqlash;
- qaysi lokomotivdan foydalanishni belgilash;
- vagonlarni qaytarib olish vaqtini hisoblash;
- kechikish xavfini oldindan aniqlash;

- vagonlarning bekor turishini kamaytirish;
- manevr lokomotivlaridan foydalanish samaradorligini oshirish;
- dispetcher qarorini qo'llab-quvvatlash;
- stansiya texnologik jarayonini raqamlashtirish.

Bu ayniqsa ko'plab kichik va o'rta stansiyalarda muhim bo'lishi mumkin, chunki shaxobcha yo'lilar soni ko'p bo'lmasa ham, ularning xizmat ko'rsatish ketma-ketligi va vagonlarning tayyorlik vaqtlaridagi o'zgarishlar murakkablik tug'diradi.

Xulosa. Yuk stansiyasidan shaxobcha yo'llarga vagonlarni berish va qaytarib olish jarayoni temir yo'l transportining mahalliy ishlarini tashkil etishda muhim operatsion masalalardan biridir. Mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ushbu muammo turli ilmiy maktablarda turlicha shakllantirilgan: ayrim tadqiqotlar manevr vaqtlarini me'yorlashga, boshqalari vagonlarni berish va qaytarib olish ketma-ketligiga, yana boshqalari Yuk maydonlarilarda vagon oqimlarini boshqarish va lokomotivlardan foydalanishni optimallashtirishga qaratilgan. Li va hammualliflarning shaxobcha yo'li bo'yicha tadqiqoti operatsiyalarni yagona optimallashtirish masalasi sifatida ko'rishning ilmiy asoslanganligini ko'rsatadi. Manevr vaqtlarini me'yorlash bo'yicha tadqiqot esa optimallashtirish modelining aniqligi avvalo texnologik operatsiyalar vaqtlarini to'g'ri baholashga bog'liqligini ko'rsatadi. Eng yangi shaxobcha yo'llari tadqiqotlari esa masalani yanada rivojlantirib, vagonlarni berish ketma-ketligi va bir nechta manevr lokomotivlari o'rtasida ish yuklamasini taqsimlashni yagona tizimga birlashtirmoqda. 2026-yilgi tadqiqotda real stansiya ma'lumotlari asosida taklif qilingan usul amaldagi amaliyotga nisbatan taxminan 31,3 foizga yaxshilanish bergani ko'rsatilgan. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlar tahlili yana bir muhim xulosani beradi: kelajakdagi model faqat statik optimallashtirish bilan cheklanmasligi kerak. Vagonlarning real vaqtdagi joylashuvi, yuk frontlarining tayyorligi, manevr lokomotivining holati va keyingi poyezdning jo'nash vaqti doimiy ravishda o'zgarib turadi. Shu sababli real vaqt ma'lumotlari, RFID/IoT texnologiyalari, prognozlash algoritmlari va matematik optimallashtirishni birlashtiruvchi raqamli boshqaruv tizimi istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Taklif etilayotgan yondashuvda asosiy optimallashtirish mezonlari sifatida umumiy vagon-soatni kamaytirish, qo'shimcha mezonlar sifatida manevr xarajatlari, yurish masofasi, deadline buzilishi va lokomotivlar yuklamasining muvozanati olinadi. Bunday yondashuv "eng qisqa marshrut" yoki "eng tez xizmat" kabi bitta mezonga asoslangan an'anaviy qoidalarga nisbatan stansiyaning haqiqiy texnologik jarayonini to'liqroq aks ettiradi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda taklif etilayotgan modelni O'zbekiston temir yo'l stansiyalarining real ma'lumotlari asosida sinash, kamida 3–5 ta stansiya uchun tajriba o'tkazish, amaldagi texnologiya bilan taqqoslash, vagon-soat va lokomotiv bandligining o'zgarishini statistik jihatdan baholash hamda RFID/IoT ma'lumotlari

bilan real vaqt rejimida ishlaydigan qarorlarni qo'llab-quvvatlash dasturini ishlab chiqish maqsadga muvofiq. Shunday qilib, vagonlarni shaxobcha yo'llarga berish masalasini faqat manevr operatsiyasi sifatida emas, balki "vagon oqimi + shaxobcha yo'li + yuk fronti + manevr lokomotivi + vaqt oynasi + keyingi poyezd" o'zaro bog'langan tizimi sifatida ko'rib chiqish ilmiy va amaliy jihatdan samaraliroq yondashuv hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Li, B.; Yun, C.; Xu, G.; Zhou, X.; Xuan, H. Optimization of Simultaneous Delivery and Pickup Wagon Scheme on Hybrid Shaxobcha yo'li Network of Railway Terminal. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022, Article 6713617, 17 p.
2. Baqoyev, A.; Yusupov, A.; Khudayberganov, S.; Sarsembekov, B.; Khusenov, U.; Svetashev, A.; Kayumov, S.; Akhmedova, M.; Tokhtakhodjayeva, M. Combinatorial Optimization of Shunting Operations for Shaxobcha yo'llaris Adjacent to Railway Stations. *Vehicles*, 2026, 8(5), 107.
3. Kozachenko, D. M.; Verlan, A. I.; Korobiova, R. H. Development of Analytical Methods for Calculating Time Standards for Shunting Operations. *Science and Transport Progress*, 2021. DOI: 10.15802/stp2021/228097.
4. Deleplanque, S.; Pellegrini, P.; Rodriguez, J. Train management in freight shunting yards: Formalisation and literature review. *IET Intelligent Transport Systems*, 2022, 16(10), 1286–1305.
5. Bohlin, M.; Gestrelus, S.; Dahms, F.; Mihalák, M.; Flier, H. Optimization Methods for Multistage Freight Train Formation. *Transportation Science*, 2015, 50(3), 823–840.
6. Haahr, J. T. Reactive Robustness and Integrated Approaches for Railway Optimization Problems. PhD Thesis, Technical University of Denmark.
7. Deleplanque, S.; Pellegrini, P.; Rodriguez, J. Optimization of a temir yo'l maydonlari in real time. *EURO 2018*.
8. Sánchez Martín, C. Automated Shunting in Rail Yuk maydonlaris. Master Thesis, Technische Universität Berlin, 2019.
9. Kozachenko, D. M.; Klyga, O. V.; Kharchenko, Ye. V. Modeling of Train Sets in Tasks of Railway Stations Technical and Operational Evaluation. *Science and Transport Progress*, 2025.
10. Optimization of Railway Freight Shunting. *Handbook of Optimization in the Railway Industry*, 2018.