

Date: 13th October-2026

YUK STANSIYASIDAN SHAXOBCHA YO‘LLARGA VAGONLARNI
BERISH JARAYONINI OPTIMALLASHTIRISH

Tojiboyev Jahongir Baxodir o‘g‘li.¹

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

Annotatsiya. Maqolada yuk stansiyasidan sanoat korxonalarining shaxobcha yo‘llariga vagonlarni berish va yuk operatsiyalaridan so‘ng ularni qaytarib olish jarayonini operativ boshqarish masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotning asosiy farqli jihati shundan iboratki, vagonlarni berish masalasi faqat manevr yo‘nalishi yoki vagonlarni xizmat ko‘rsatish ketma-ketligini aniqlash vazifasi sifatida emas, balki vagonning stansiyaga kelishidan boshlab uning keyingi poyezd tarkibiga qayta biriktirilishigacha davom etadigan yagona texnologik jarayon sifatida qaraladi. Mavjud tadqiqotlarda vagonlarni berish va qaytarib olish sxemalarini matematik modellashtirish, manevr operatsiyalarining vaqt me‘yorlarini aniqlash hamda industrial sidinglarga xizmat ko‘rsatish ketma-ketligini optimallashtirish bo‘yicha samarali yondashuvlar ishlab chiqilgan.

Maqolada ushbu yondashuvlar asosida vagonlarning tayyorlik vaqti, manevr lokomotivining mavjudligi, подъездной yo‘lining bandligi, yuk frontining ishlash holati va vagonning keyingi poyezdga ulanish muddati o‘zaro bog‘langan holda hisobga olinadigan operativ optimallashtirish modeli taklif etiladi. Asosiy samaradorlik mezon sifatida vagonlarning bekor turish vaqtini kamaytirish, qo‘shimcha mezon sifatida manevr lokomotivining yurish masofasi, kechikishlar soni va lokomotivlardan foydalanish muvozanati qabul qilinadi.

Kalit so‘zlar: yuk stansiyasi, shaxobcha yo‘l, sanoat korxonasi, vagon berish, vagon qaytarish, manevr lokomotivi, yuk fronti, vagon-soat, vaqt, optimallashtirish.

Kirish. Temir yo‘l transportida tashish jarayonining umumiy samaradorligi faqat poyezdlarning uchastkalarda harakatlanish tezligiga bog‘liq emas. Vagonlarning stansiyalarda qayta ishlanishi, guruhlanishi, yuk operatsiyalariga berilishi va keyinchalik yana poyezd tarkibiga qaytarilishi ham tashish jarayonining muhim qismini tashkil qiladi.

Ayniqsa, yuk stansiyasiga tutashgan sanoat korxonalarining shaxobcha yo‘llarida vagonlarga xizmat ko‘rsatish jarayoni murakkabligi bilan ajralib turadi. Bir tomondan, vagon korxonaning yuklash yoki tushirish frontiga imkon qadar tez yetkazilishi kerak. Ikkinchi tomondan, yuk operatsiyasi tugagach, vagon belgilangan vaqt ichida stansiyaga qaytarilishi lozim. Aks holda vagon keyingi poyezd tarkibiga o‘z vaqtida biriktirilmasligi mumkin.

Shuning uchun amaliyotdagi asosiy savol:

“Vagonni qaysi shaxobcha yo‘lga birinchi olib borish kerak?” emas, balki:

“Mavjud vagonlar, lokomotivlar, yuk frontlari va vaqt cheklovlari sharoitida butun xizmat ko‘rsatish jarayonini qanday tashkil etish kerak?” degan savol bo‘lishi kerak.

Bu farq muhim. Chunki eng yaqin korxonaga birinchi borish yoki vagonlarni kelish tartibida berish har doim ham umumiy tizim uchun eng samarali qaror bo‘lmaydi.



Date: 13th October-2026

Masalan, A korxona stansiyaga yaqin, B korxona esa uzoq joylashgan bo'lishi mumkin. Biroq A korxonasidagi vagonlarning yuk operatsiyasi hali tugamagan, B korxonasidagi vagonlar esa ma'lum vaqtgacha tayyor bo'lib, keyingi poyezdga biriktirilishi shart bo'lsa, uzoqroq joylashgan B korxonasiga ustuvorlik berish umumiy vagon aylanishini yaxshilashi mumkin.

Demak, masofa — qaror qabul qilishning yagona mezonini emas.

Asosiy qism. Muammoning texnologik mohiyati.

Yuk stansiyasi bilan shaxobcha yo'l o'rtasidagi vagon almashinuvi shartli ravishda quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

Poyezd kelishi → vagonlarni ajratish → guruhlash → manevr lokomotivini tayyorlash → vagonlarni berish → yuklash/tushirish → vagon tayyorligi → qaytarib olish → stansiyada qayta guruhlash → poyezd tarkibiga biriktirish.

Ushbu zanjirning istalgan bosqichidagi kechikish keyingi operatsiyalarga ta'sir qiladi. Shu sababli vagonning umumiy texnologik siklini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$T_{sikl} = T_{ajratish} + T_{berish} + T_{yuk} + T_{qaytarish} + T_{guruhlash} \quad (1)$$

Bu yerda:

- $T_{ajratish}$ — vagonni poyezd tarkibidan ajratish va tayyorlash vaqti;
- T_{berish} — shaxobcha yo'lga yetkazish va joylashtirish vaqti;
- T_{yuk} — yuklash yoki tushirish davomiyligi;
- $T_{qaytarish}$ — vagonni stansiyaga olib kelish vaqti;
- $T_{guruhlash}$ — keyingi poyezd tarkibiga kiritish uchun zarur vaqt.

Demak, vagonning stansiyada turish vaqtini qisqartirish uchun faqat manevr tezligini oshirish yetarli emas.

Agar yuk frontida vagon 3 soat tayyor bo'lmay tursa, manevr lokomotivining 10 daqiqa tezroq harakatlanishi umumiy natijaga katta ta'sir ko'rsatmaydi. Shundan kelib chiqib, tadqiqotda asosiy e'tibor "manevrni tezlashtirish"dan "butun texnologik siklni qisqartirish"ga qaratiladi.

Mavjud tadqiqotlardan farqli yondashuv. Vagonlarni berish va qaytarib olish bo'yicha ilmiy adabiyotlarda bir nechta muhim yondashuvlar mavjud.

Li va hammualliflar temir yo'l terminali uchun vagonlarni bir vaqtning o'zida berish va qaytarib olish sxemasini matematik dasturlash masalasi sifatida shakllantirgan. Ularning maqsad funksiyasida manevr lokomotivlari xarajati, vagonlarning harakat xarajati va qaytarib olish vaqt oynasidan chiqib ketish uchun jarima xarajati hisobga olingan. Muammo NP-murakkab bo'lgani sababli mualliflar ikki bosqichli gibrid optimallashtirish usulini taklif qilgan.

Kozachenko, Verlan va Korobiova esa manevr operatsiyalarining vaqt me'yorlarini aniqlash metodlarini tahlil qilgan. Tadqiqotda temir yo'l transportining tushunchalari o'zaro bog'langan holda ko'rib chiqilgan.

2026-yilda chop etilgan tadqiqotda esa masala yanada aniqroq shakllantirilib, vagonlarni berishning optimal ketma-ketligi va manevr lokomotivlari o'rtasidagi ish yuklamasini taqsimlash matematik model yordamida ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning asosiy



Date: 13th October-2026

maqsadi vagonlarning stansiyada turish vaqtini kamaytirish va manevr lokomotivlaridan foydalanish samaradorligini oshirishdan iborat.

Mazkur ishlardan farqli ravishda ushbu maqolada asosiy e'tibor operativ qaror qabul qilishga qaratiladi.

Ya'ni model: "Bugun stansiyada 10 ta vagonni qanday beramiz?" degan statik masaladan ko'ra, "Hozirgi holat o'zgarganda keyingi 30–60 daqiqada qaysi operatsiyani bajarish eng maqsadga muvofiq?" degan dinamik masalani hal qilishga yo'naltiriladi.

Vagonning ustuvorligini aniqlash. Operativ boshqaruvda barcha vagonlar bir xil ustuvorlikka ega emas.

Har bir vagon uchun ustuvorlik ko'rsatkichi P_i aniqlanishi mumkin:

$$P_i = w_1 D_i + w_2 R_i + w_3 L_i + w_4 Q_i \quad (2)$$

bu yerda:

- D_i — keyingi poyezd jo'nashigacha qolgan vaqt;
- R_i — vagonning qaytarib olish muddati;
- L_i — yuk frontining tayyorlik holati;
- Q_i — vagonning navbatdagi transport topshirig'idagi ahamiyati;
- w_1, w_2, w_3, w_4 — tegishli og'irlik koeffitsiyentlari.

Bunda ustuvorlikning fizik ma'nosi quyidagicha: qaytarilishga ko'p vaqt qolgan vagon → pastroq ustuvorlik; keyingi poyezdga ulanish muddati yaqin vagon → yuqoriroq ustuvorlik. Shunday qilib, xizmat ko'rsatish navbati faqat vagonlarning stansiyaga kelish tartibiga bog'lanmaydi.

Vaqt asosida boshqarish. Vagonlarni berish va qaytarib olishda vaqt oynasi muhim cheklov hisoblanadi.

Har bir vagon yoki vagon guruhi uchun: $[E_i, L_i]$ intervali beriladi.

Bu yerda:

- E_i — operatsiyani boshlash mumkin bo'lgan eng erta vaqt;
- L_i — operatsiyani bajarish yoki vagonni qaytarishning oxirgi vaqti.

Agar: $T_i \leq L_i$ bo'lsa, vagon o'z vaqtida qaytarilgan hisoblanadi.

Agar: $T_i > L_i$ bo'lsa, kechikish yuzaga keladi.

Kechikish uchun shartli jarima:

$$C_{delay} = c_i \max(0, T_i - L_i) \quad (3)$$

orqali aniqlanishi mumkin.

Bu yondashuv L_i va hammualliflarining modelidagi retrieval time window va penalty cost tushunchalariga mos keladi.

Manevr lokomotivini tanlash. Bir nechta lokomotiv mavjud bo'lgan stansiyada ikkinchi muhim qaror — qaysi lokomotiv xizmat ko'rsatishi.

Buning uchun lokomotivning:

- joriy joylashuvi;
- bandlik holati;
- keyingi vazifasi;
- yurish masofasi;
- tortish imkoniyati;



Date: 13thOctober-2026

- xizmat ko'rsatayotgan vagonlar soni hisobga olinadi.

Lokomotiv uchun shartli xarajat:

$$C_k = \alpha d_k + \beta t_k + \gamma B_k \quad (4)$$

ko'rinishida ifodalanishi mumkin.

Bu yerda:

- d_k — lokomotivning qo'shimcha yurish masofasi;
- t_k — operatsiya vaqti;
- B_k — lokomotivning bandlik darajasi.

Natijada tizim faqat "bo'sh lokomotivni topish" emas, balki eng kam qo'shimcha xarajat bilan xizmat ko'rsata oladigan lokomotivni tanlaydi.

Taklif qilinayotgan operativ algoritmi. Maqolada vagonlarni berish jarayonini boshqarish uchun quyidagi algoritmi taklif etiladi.

1-bosqich. Yig'ish. Tizim quyidagi ma'lumotlarni oladi:

- stansiyadagi vagonlar;
- ularning joylashuvi;
- shaxobcha yo'llar holati;
- yuk frontlari bandligi;
- mavjud lokomotivlar;
- keyingi poyezdlarning jo'nash vaqti.

2-bosqich. Tayyor vagonlarni ajratish. Faqat xizmat ko'rsatishga tayyor vagonlar tanlanadi.

3-bosqich. Ustuvorlikni hisoblash. Har bir vagon uchun P_i aniqlanadi.

4-bosqich. Muqobil variantlarni shakllantirish.

Masalan:

- $A \rightarrow B \rightarrow C$;
- $A \rightarrow C \rightarrow B$;
- $B \rightarrow A \rightarrow C$;
- $B \rightarrow C \rightarrow A$;
- $C \rightarrow A \rightarrow B$;
- $C \rightarrow B \rightarrow A$.

5-bosqich. Xarajatni hisoblash. Har bir variant uchun:

$$F = w_1 T_{\text{vagon}} + w_2 D_{\text{lok}} + w_3 C_{\text{delay}} + w_4 B_{\text{lok}} \quad (5)$$

qiymati hisoblanadi.

6-bosqich. Eng maqbul variantni tanlash. $F \rightarrow \min$ bo'lgan variant tanlanadi.

7-bosqich. Operatsiyani bajarish. Tanlangan qaror manevr lokomotiviga uzatiladi.

8-bosqich. Holatni yangilash. Operatsiya tugagach, tizim yangi ma'lumotlarni qabul qilib, keyingi qarorni qayta hisoblaydi.

Shu sababli tizim bir marta tuzilgan qat'iy jadval emas, balki har bir operatsiyadan keyin yangilanadigan boshqaruv mexanizmi bo'ladi.

Taklif etilayotgan model uchun umumiy maqsad funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \alpha W + \beta D + \gamma C + \delta P + \varepsilon B \rightarrow \min \quad (6)$$

bu yerda:



Date: 13th October-2026

W— vagonlarning umumiy bekor turish vaqti;

D— manevr lokomotivlarining umumiy yurish masofasi;

C— ekspluatatsion xarajat;

P— vaqt oynasidan chiqish uchun jarima;

B— lokomotivlar ish yuklamasi nomutanosibligi.

Bunday modelning muhim jihati shundaki, faqat bitta ko'rsatkichni kamaytirishga harakat qilinmaydi.

Masalan, faqat yurish masofasini minimallashtirish: $D \rightarrow \min$ qilinsa, lokomotiv uchun qisqa marshrut olinishi mumkin, biroq vagonlarning uzoq vaqt kutib qolishi ehtimoli paydo bo'ladi.

Aksincha, faqat vagon vaqtini minimallashtirish lokomotivlar ortiqcha harakatlanishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun ko'p mezonli yondashuv maqsadga muvofiq.

Vagon-soatni kamaytirishning iqtisodiy mohiyati. Vagonning stansiyada ortiqcha turishi transport tizimiga ikki tomonlama ta'sir qiladi. Birinchidan, vagonning aylanishi sekinlashadi. Ikkinchidan, bir xil yuk tashish hajmini bajarish uchun ko'proq vagon talab qilinishi mumkin.

Umumiy bekor turish: $W = \sum_{i=1}^n T_i$ orqali aniqlanadi.

Agar optimallashtirish natijasida: $W_{yangi} < W_{eski}$ bo'lsa, vagon parkidan foydalanish samaradorligi oshadi.

Shartli iqtisodiy samara:

$$E = (W_{eski} - W_{yangi}) C_w \quad (7)$$

orqali baholanishi mumkin.

Bu yerda C_w — bir vagon-soatning iqtisodiy qiymati.

Shu sababli vagon-soat ko'rsatkichi nafaqat texnik, balki iqtisodiy ko'rsatkich ham hisoblanadi.

Real vaqt ma'lumotlarining ahamiyati. Amaldagi texnologik reja ko'pincha operatsiyalarni oldindan belgilangan vaqtlar asosida tashkil qiladi. Biroq real sharoitda reja o'zgarishi mumkin.

Masalan:

- korxonadagi yuklagich ishdan chiqadi;
- vagonni tushirish rejalashtirilganidan uzoq davom etadi;
- boshqa sidingdagi vagonlar oldinroq tayyor bo'ladi;
- manevr lokomotivi boshqa operatsiyada ushlanib qoladi;
- asosiy poyezdning jo'nash vaqti o'zgaradi.

Shunday holatda avvalgi reja avtomatik ravishda optimal bo'lmay qoladi. Shuning uchun qayta hisoblash mexanizmi taklif etiladi. Bu rolling optimization yoki rejalashtirish gorizontini siljitib boruvchi boshqaruv tamoyiliga asoslanadi.

RFID va avtomatik identifikatsiya. Operativ optimallashtirishning muhim sharti — tizimga kiruvchi ma'lumotlarning aniqligidir.

Agar vagonning haqiqiy joylashuvi noto'g'ri ko'rsatilsa, algoritm to'g'ri matematik hisoblagan taqdirda ham amaliy jihatdan noto'g'ri qaror chiqaradi. Shu sababli avtomatik



Date: 13thOctober-2026

identifikatsiya texnologiyalaridan foydalanish istiqbolli hisoblanadi. RFID tizimida bir qator ma'lumotlar olinishi mumkin. Ushbu ma'lumotlar asosida vagonning:

- stansiyaga kelishi;
- ma'lum yo'lga o'tishi;
- подъездной yo'lga berilishi;
- qaytarilishi

avtomatik qayd qilinishi mumkin.

Natijada optimallashtirish modeli operator tomonidan qo'lda kiritiladigan ma'lumotlarga kamroq bog'liq bo'ladi.

Sun'iy intellektdan foydalanish imkoniyati. Kelgusida tizimni faqat optimallashtirish bilan cheklamasdan, prognozlash moduli bilan kengaytirish mumkin. Keyin ushbu prognoz optimallashtirish modeliga uzatiladi. Shunda:

ma'lumot → prognoz → optimallashtirish → qaror → real natija → yangi ma'lumot ko'rinishidagi yopiq boshqaruv sikli shakllanadi. Bu yondashuv statik jadval tuzishdan ko'ra moslashuvchanroq tizimni yaratish imkonini beradi.

Taklif qilinayotgan yondashuvning ilmiy yangiligi quyidagi jihatlarida ko'rinadi.

- Vagonni shaxobcha yo'lga berish alohida operatsiya emas, balki vagonning keyingi qaytarilishi va poyezdga birlashtirilishi bilan bog'langan texnologik sikl sifatida qaraladi.

- Qaror qabul qilishda vagon-soat bilan bir qatorda vaqt oynasi, lokomotiv masofasi va lokomotivlarning yuklamasi birgalikda hisobga olinadi.

- Xizmat ko'rsatish ketma-ketligi oldindan bir marta belgilanmaydi; yangi ekspluatatsion ma'lumot kelishi bilan qayta hisoblanadi.

- RFID/IoT ma'lumotlari orqali vagonlarning real holatini aniqlash va optimallashtirish modeliga uzatish imkoniyati ko'zda tutiladi.

- Vagonning yuk frontida tayyor bo'lish vaqtini sun'iy intellekt yordamida prognozlash va natijani operativ optimallashtirishga uzatish taklif etiladi.

Taklif etilayotgan tizimning tuzilishi. Amaliy dasturiy tizimni quyidagi besh modul asosida tashkil etish mumkin:

Modul	Vazifasi
1. Ma'lumot yig'ish	Vagon, siding va lokomotiv holatini olish
2. Prognozlash	Vagonning tayyorlik vaqtini aniqlash
3. Optimallashtirish	Ketma-ketlik va lokomotivni tanlash
4. Dispatcherlik	Tayyor qarorni operatorga ko'rsatish
5. Monitoring	Haqiqiy va rejalashtirilgan natijani solishtirish

Bunday tizimning asosiy afzalligi — operator qarorini to'liq almashtirish emas, balki unga asoslangan optimal variantlarni taqdim etish.

Ya'ni yakuniy qarorni dispatcher qabul qiladi, algoritm esa:

- qaysi vagonni;
- qaysi sidingga;
- qaysi lokomotiv bilan;
- qaysi vaqtda



Date: 13th October-2026

berish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi.

Tajriba tadqiqotini tashkil etish. Taklif etilgan modelni tekshirish uchun real stansiya ma'lumotlari asosida kamida uchta holatni taqqoslash mumkin:

1-variant — amaldagi texnologiya. Vagonlarni berish stansiyada amalda qo'llanayotgan tartibda bajariladi.

2-variant — oddiy ustuvorlik qoidasi. Masalan, tayyor bo'lgan yoki eng qisqa xizmat vaqtiga ega vagon birinchi beriladi.

3-variant — taklif etilgan model. Vagon tayyorligi, muddat, masofa, lokomotiv bandligi va keyingi poyezd vaqti birgalikda hisobga olinadi. Taqqoslashda quyidagi ko'rsatkichlardan foydalanish mumkin:

Ko'rsatkich	Belgilanishi
Umumiy vagon-soat	W
O'rtacha turish vaqti	T
Manevr masofasi	D
Deadline buzilishi	N _d
Lokomotiv bandligi	K _l
O'z vaqtida qaytarilgan vagonlar	K _{ot}

Natijada taklif etilgan modelning samarasi faqat "optimal yechim topildi" degan mezon bilan emas, balki real ekspluatatsion ko'rsatkichlarning o'zgarishi orqali baholanadi.

Mavjud ilmiy ishlar tahlili shuni ko'rsatadiki, vagonlarni shaxobcha yo'llarga berish muammosi bir nechta mustaqil masalalarning kesishgan nuqtasida joylashgan. Bir tomondan, manevr operatsiyasining davomiyligini aniq baholash kerak. Kozachenko va hammualliflarining tadqiqoti aynan vaqt me'yorlarini shakllantirish masalasiga e'tibor qaratadi. Ikkinchi tomondan, vagonlarni berish va qaytarib olish o'zaro bog'langan. Li va hammualliflarining modeli bu ikki operatsiyani yagona matematik masala sifatida ko'rib chiqadi. Uchinchi tomondan, industrial sidinglarda vagonlarning qaysi ketma-ketlikda berilishi va manevr lokomotivlari ishining taqsimlanishi alohida optimallashtirish masalasini hosil qiladi. Shu uch yo'nalishni birlashtirish natijasida yangi bosqichdagi model shakllanadi. Mazkur yondashuvning eng muhim tomoni — optimallashtirishni faqat oldindan tuzilgan jadval uchun emas, balki real ekspluatatsion vaziyatning o'zgarishiga javob beradigan tizim sifatida tashkil qilishdir.

Xulosa. Yuk stansiyasidan shaxobcha yo'llarga vagonlarni berish jarayoni tashqi ko'rinishda oddiy manevr operatsiyasi bo'lib ko'rinsa-da, amalda u vagonning butun texnologik sikliga ta'sir ko'rsatuvchi murakkab boshqaruv masalasidir.

Mavjud tadqiqotlarda ushbu muammoning alohida tarkibiy qismlari yetarlicha chuqur o'rganilgan. Jumladan, vagonlarni berish va qaytarib olishni birgalikda optimallashtirish, manevr vaqtlarini aniqlash va industrial sidinglarda xizmat ko'rsatish ketma-ketligini optimallashtirish bo'yicha ilmiy modellar mavjud. Biroq amaliy stansiya sharoitida qaror qabul qilish jarayoni doimiy ravishda o'zgarib turadigan muhitda amalga oshiriladi. Vagonning tayyorlik vaqti, yuk frontining bandligi, manevr lokomotivining holati va



Date: 13thOctober-2026

keyingi poyezdning jo'nash vaqti o'zgarishi mumkin. Shu sababli maqolada vagonlarni berish jarayonini operativ, ko'p mezonli va qayta hisoblanadigan optimallashtirish masalasi sifatida ko'rib chiqish taklif etildi.

Taklif etilgan modelda asosiy mezon sifatida vagonlarning bekor turish vaqtini kamaytirish, qo'shimcha mezonlar sifatida manevr masofasi, ekspluatatsion xarajatlar, vaqt oynasining buzilishi va lokomotivlar yuklamasining muvozanati hisobga olinadi. Tizimning keyingi rivojlanish bosqichida RFID va IoT texnologiyalaridan vagonlarning real joylashuvini aniqlash uchun, sun'iy intellekt algoritmlaridan esa vagonlarning tayyor bo'lish vaqtini prognozlash uchun foydalanish mumkin. Bunda:

Real ma'lumot→Bashorat→Optimallashtirish→Manevr qarori→Yangi ma'lumot
ko'rinishidagi yopiq boshqaruv sikli hosil bo'ladi.

Shunday qilib, yuk stansiyasidan shaxobcha yo'llarga vagonlarni berishni takomillashtirishning istiqbolli yo'nalishi faqat manevrlar sonini kamaytirish emas, balki vagonning stansiyaga kelishidan keyingi poyezdga o'z vaqtida qayta birlashtirilishigacha bo'lgan butun texnologik siklni dinamik optimallashtirishdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Li B., Yun C., Xu G., Zhou X., Xuan H. Optimization of Simultaneous Delivery and Pickup Wagon Scheme on Hybrid Siding Network of Railway Terminal // *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2022. Article 6713617.
2. 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. No. 1(91). P. 51–64. DOI: 10.15802/stp2021/228097.
3. Combinatorial Optimization of Shunting Operations for Industrial Sidings Adjacent to Railway Stations // *Vehicles*. 2026. Vol. 8, No. 5, Article 107. DOI: 10.3390/vehicles8050107.
4. Deleplanque S., Pellegrini P., Rodriguez J. Train management in freight shunting yards: Formalisation and literature review // *IET Intelligent Transport Systems*. 2022.
5. Bohlin M., Gestrelus S., Dahms F., Mihalák M., Flier H. Optimization Methods for Multistage Freight Train Formation // *Transportation Science*. 2015. Vol. 50, No. 3. P. 823–840.