

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 2, ISSUE 3

SEPTEMBER, 2025



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Optimization of the process of delivering wagons to loading and unloading sites at railway stations using a single locomotive

O.Z. Tohirov¹^a, A.T. Bakoev¹^b, B.E. Rustamjonov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

Shunting locomotives are one of the most important links in technological processes at railway stations, and their efficient management directly affects the station's processing capacity, the rhythm and continuity of the transportation process, as well as economic performance indicators. The article provides a detailed overview of the task of optimizing the process of delivering wagons to loading and unloading sites at railway stations. In the study, taking into account the combinatorial nature of the process, all possible options for the order of wagon delivery to loading and unloading sites were identified and evaluated. As the objective function, the criterion of minimizing wagon idle time was chosen, and with the help of the developed specialized software, it became possible to determine the optimal option. The obtained results show that the optimal organization of shunting processes makes it possible to efficiently use station resources, manage the transportation process promptly, reduce idle time, and decrease economic losses. The proposed approach creates wide opportunities for improving planning and management processes in railway transport, as well as for application in modern logistics systems.

Keywords:

railway station, loading and unloading sites, wagon-hours, combinatorial method, logistics, shunting, locomotive, software

Temir yo'l stansiyalarida vagonlarni bitta lokomotiv yordamida yuk ortish-tushirish joylariga yetkazib berish jarayonini optimallashtirish

Tohirov O.Z.¹^a, Baqoyev A.T.¹^b, Rustamjonov B.E.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Manyovr lokomotivlari stansiya texnologik jarayonlarining eng muhim bo'g'inlaridan biri bo'lib, ularning samarali boshqarilishi stansiyaning qayta ishlash qobiliyatini, yuk tashish jarayonlarining ritmik va uzluksizligi hamda iqtisodiy ko'rsatkichlarga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Maqolada temir yo'l stansiyalarida vagonlarni yuk ortish va tushirish joylariga yetkazib berish jarayonini optimallashtirish masalasi keng yoritilgan. Tadqiqotda jarayonning kombinatorik xarakteri hisobga olinib, vagonlarning yuklash-tushirish joylariga yetkazib berilish tartiblari bo'yicha barcha ehtimoliy variantlar aniqlangan va baholangan. Maqsad funksiyasi sifatida vagonlarning turib qolish vaqtini minimallashtirish mezonini tanlangan hamda ishlab chiqilgan maxsus dasturiy ta'minot yordamida optimal variantni aniqlash imkoniyati yaratilgan. Olingan natijalar manyovr jarayonlarini optimal tashkil etish orqali stansiya resurslaridan samarali foydalanish, tashish jarayonini tezkor boshqarish, turib qolish vaqtlarini qisqartirish va iqtisodiy yo'qotishlarni kamaytirish imkonini berishini ko'rsatadi. Taklif etilgan yondashuv temir yo'l transportida rejalashtirish va boshqaruv jarayonlarini takomillashtirish hamda zamonaviy logistika tizimlarida qo'llash uchun ham keng imkoniyatlar yaratadi.

Kalit so'zlar:

temir yo'l stansiyasi, ortish-tushirish joylari, vagon-soat, kombinatorika usuli, logistika, manyovr lokomotivi, dasturiy ta'minot

1. Kirish

Temir yo'l stansiyasiga bir nechta shoxobcha yo'llari va turli korxonalar tutashgan bo'lsa, ushbu infratuzilmani xizmat ko'rsatish tartibi va ketma-ketligini to'g'ri rejalashtirish alohida ahamiyat kasb etadi. Xususan, yuk ortish-tushirish joylarini xizmat ko'rsatishning optimal ketma-ketligini aniqlash, temir yo'l transporti samaradorligi oshiradi, qimmatbaho yoqilg'i va energiya resurslarini

tejaydi, logistika jarayonlarining uzluksizligi va korxonalar ishlab chiqarish faoliyati uchun muhim ahamiyatga ega.

Agar vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga olib kirib berish tartibi noto'g'ri tanlansa, ortiqcha lokomotiv harakatlari, vaqt yo'qotishlari, yoqilg'i va energiya resurslarini zaruratidan ortiq ishlatilishi, temir yo'l infratuzilmasidan samarasiz foydalanish va ortish-tushirish operatsiyalarida kechikishlar yuzaga kelishi mumkin. Aksincha, optimal belgilangan xizmat ko'rsatish ketma-ketligi bunday salbiy oqibatlarining oldini olishga va tashish

^a <https://orcid.org/0009-0006-9147-0033>

^b <https://orcid.org/0009-0003-0655-0484>

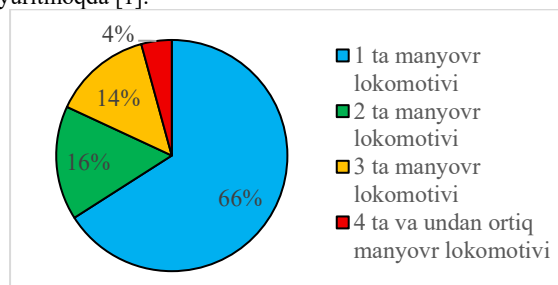
^c <https://orcid.org/0009-0007-5775-3870>



jarayonining tezkor, aniq hamda uzluksiz amalga oshirilishini ta'minlashga imkon yaratadi.

Shuningdek, stansiya tutashgan shoxobcha va korxona yo'llari sonining ortishi bilan temir yo'l infratuzilmasi murakkablashib boradi. Bu esa har bir yangi qo'shilgan shoxobcha yo'llari lokomotivlarning harakatlanish marshrutlari va vagonlarning joylashtirilishi bo'yicha qo'shimcha variantlarni yuzaga keltirishini anglatadi, natijada kombinatsion yechimlar soni keskin ortadi. Bunday sharoitda xizmat ko'rsatish tartibini aniqlash, qo'lda hisoblash usullari yordamida amaliy jihatdan imkonsiz bo'lib qoladi. Bu holat, ayniqsa yagona lokomotiv yordamida shoxobcha yo'llariga xizmat ko'rsatadigan stansiyalarda yanada murakkab masala hisoblanadi.

"Temiryo'linfratuzilma" AJ tasarrufidagi 272 ta temir yo'l stansiyasining 94 tasida manyovr lokomotivlari ishlaydi. Ularning umumiy soni 1-rasmda ko'rsatilgan tartibda taqsimlangan: 1 ta manyovr lokomotivi ishlaydigan 62 ta (66 %) stansiya, 2 ta manyovr lokomotivi ishlaydigan 15 ta (16 %) stansiya, 3 ta manyovr lokomotivi ishlaydigan 13 ta (14 %) stansiya va 4 ta va undan ortiq manyovr lokomotivi ishlaydigan 4 ta (4 %) stansiya faoliyat yuritmoqda [1].



1-rasm. "Temiryo'linfratuzilma" AJ tasarrufidagi manyovr lokomotivlarining stansiyalar kesimida taqsimlanishi

Yuqoridagilar, o'z navbatida, shoxobcha yo'llariga bitta manyovr lokomotivi bilan xizmat ko'rsatish jarayonida matematik modellash va algoritmik yondashuvlar asosida maxsus dasturiy ta'minotdan foydalanish zarurati ko'rsatadi. Bunday yondashuv nafaqat hisob-kitob ishlarini tezkor va aniq bajarishni, balki eng maqbul yechimni tanlab olish orqali temir yo'l infratuzilmasidan samarali foydalanishni va yoqilg'i-energetika resurslarini tejashni ham ta'minlaydi.

O'zbekiston va xorijda olib borilgan bir qator tadqiqotlarda yuk stansiyalarida vagonlarni ortish-tushirish joylariga yetkazish texnologiyalarini optimallashtirish, shuningdek manyovr lokomotivlardan samarali foydalanish masalalari yoritilgan. Jumladan, C. Moldenhauer va boshqalar yagona vagon yuklari (single wagon load) zanjirini optimallashtirish uchun real vaqtidagi transport modellarini ishlab chiqqan [2]. Ularda vagonlarni turli frontlarga joylashtirish, poyezdlarni tuzish va lokomotiv harakatlarini optimallashtirish masalalari yoritilgan. Qiu J. va boshqalar katta yuk stansiyalarida manyovr operatsiyalari rejasini optimallashtirish uchun DQN (Deep Q-Network) algoritmidan foydalangan. Ularda manyovr lokomotivining harakat traektoriyalari, qayta yurishlar soni va ish vaqtini qisqartirish masalalari o'rganilgan [3]. Guo Goods Operation Stations (GOS) misolida vagonlarni yetkazish va olib kelish operatsiyalarini optimallashtirishni taklif qilgan. Ushbu tadqiqotda lokomotiv yo'l xarajatini kamaytirish va ish vaqtini tejash bo'yicha modellar berilgan [4]. Li vagonlarni yetkazish va qaytarib olish operatsiyalarini bir

vaqtda rejalashtirish masalasini ko'rib chiqqan. Muallif xarajatlarni kamaytirish va lokomotiv yo'llaridan oqilona foydalanishni nazarda tutuvchi modellarni taklif qilgan [5]. S.B. Sattorov mahalliy yuk tashish jarayonlarini tashkil etishda stansiya imkoniyatlari va tranzit oqimlar ta'siriga e'tibor qaratgan hamda vagonlarning stansiyalarda to'xtashi, manyovr operatsiyalariga ta'sir etuvchi omillar yoritilgan [6].

Ye.D. Pserovskaya yuk stansiyalarining qayta ishlash qobiliyatiga asosiy parametrlarning ta'sirini o'rgangan va frontlarga vagonlarni yetkazishdagi infratuzilma cheklovlarini aniqlagan [7]. Shuningdek, P.S. Grigorev [8] va O.R. Xamidovlar [9] manyovr lokomotivlari konstruksiyasi va ularning xizmat muddatini baholash bo'yicha tadqiqotlar olib borgan bo'lib, lokomotivning ortish-tushirish joylariga xizmat ko'rsatishida ishonchligini ta'minlashda muhim nazariy yechimlar ishlab chiqqan.

Manyovr lokomotivi yordamida yuk ortish-tushirish joylariga optimal xizmat ko'rsatish navbatini tanlashga doir ilmiy ishlarda vagon-soat ko'rsatkichlarini minimallashtirish mezonini yetarli darajada yoritilmagan. Jumladan, Li H., Chen H., Wang Y. o'z ishlarda daraxtsimon maxsus temir yo'l tarmoqlaridan vagonlarni olib kirish, olib chiqish va joylashtirish jarayonini optimallashtirish masalasini ko'rib chiqqan. Mualliflar manyovr lokomotivi harakatlari ketma-ketligini belgilash orqali umumiy talab etiladigan manyovr vaqtini kamaytirishga qaratilgan genetik va muravey algoritmlari asosidagi modellarni taklif qilgan [10]. Qiu J. va boshqalar yuk poyezdlari deposida manyovr operatsiyalari rejalashtirish masalasini tadqiq etgan. Ular manyovr lokomotivining harakat traektoriyasini optimallashtirish, saralash operatsiyalari sonini kamaytirish va vaqt samaradorligini oshirish yechimlarini ishlab chiqqan [11]. Chen H. va boshqalar avtomatlashtirilgan konteyner terminallarida poyezdlarni yuklash va tushirish operatsiyalarini rejalashtirish va konteynerlar navbatini tanlash masalasini ko'rib chiqqan. Mualliflar sinxron yuklash-tushirish usuli va MILP (Mixed Integer Linear Programming) modellari hamda ALNS (Adaptive Large Neighborhood Search) algoritmlarini qo'llab, xizmat ko'rsatish vaqtini qisqartirish va texnik vositalardan samarali foydalanishni ta'minlashga erishgan [12]. Han P. va boshqalar manyovr lokomotivlari yordamchi stansiyalarda poyezd tarkibini shakllantirish va resurslardan foydalanish masalasini kompleks optimallashtirishga qaratilgan ish olib borgan. Mualliflar matematik dasturlash va Constraint programming yondashuvlarini birlashtirib, manyovr ishlarini logik asosli dekompozitsiya orqali hal qilish usulini taklif qilgan [13]. Zhang Q. stansiyalarda yuk ortish-tushirish resurslarini taqsimlash masalasini o'rgangan. Uning ishidan asosiy maqsad uskunalarining ish vaqtini va poyezdlarning stansiyada turish vaqtini minimallashtirish hisoblanadi. Muallif maxsus modellari va optimallashtirish usullari orqali xizmat ko'rsatish samaradorligini oshirishga erishgan [14].

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, mavjud ilmiy ishlarda ortish-tushirish joylariga xizmat ko'rsatish navbatini tanlashda mumkin bo'lgan viraantlar to'g'ridan-to'g'ri kombinatorik yondashuv asosida amalga oshirilmagan, chunki vagonlar va frontlar soni ortishi bilan kombinatsiyalar geometrik o'sadi. Shuning uchun mualliflar evristik va metaevristik usullarni qo'llab, kombinatsiyalar sonini qisqartirish orqali nazariy yechimlar taklif qilgan.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot obyekti sifatida bir yo'li uchatkada joylashgan shartli "N" yuk stansiyasi tanlab olindi (2-rasm). Ushbu infratuzilmada "N" yuk stansiyasiga tortuv yo'llari bilan tutashgan 10 ta yuk ortish tushirish fronti mavjud. Stansiyaga tutashgan frontlarga xizmat ko'rsatuvchi muhim vosiya bo'lgan manyovr lokomotivlar soni 1 ta. Ushbu murakkab infratuzilmaga xizmat ko'rsatish, yuk ortish tushirish joylariga tayinlangan vagonlarni olib kirib berish ketma-ketligini tanlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Ortish-tushirish joylariga vagonlarni ketma-ket olib kirishning variantlar soni kombinatorika usuli bo'yicha quyidagi formula orqali aniqlanadi:

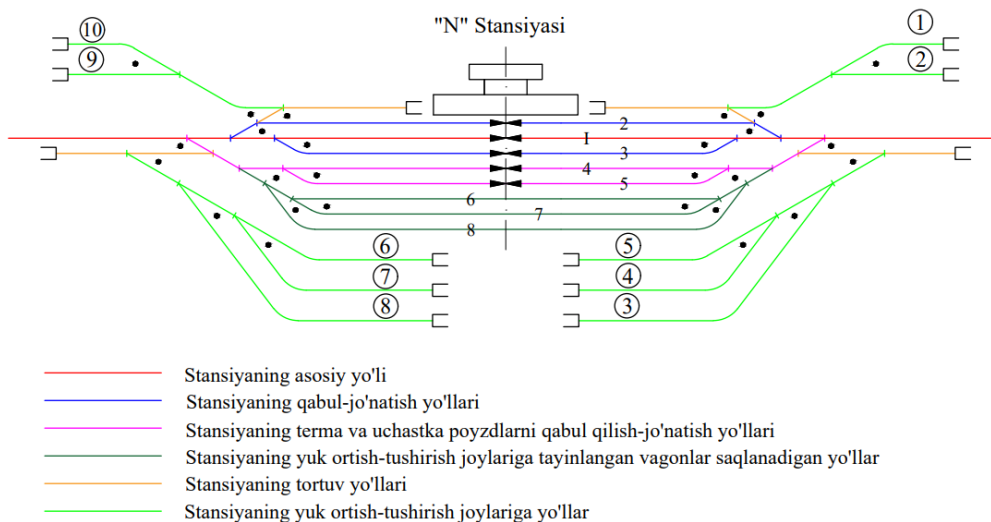
$$k = n! \quad (1)$$

bunda: n – xizmat ko'rsatiladigan yuk ortish-tushirish joylari soni

Masalan, 10 ta yuk ortish tushirish joylari uchun:

$$k = 10! = 3628800$$

Lekin shoxobcha yo'llarining joylashuvi va stansiyaga ulanish tarmog'idan kelib chiqib, ketma-ket tanlov asosida



2-rasm. Shartli "N" yuk stansiyasi va unga tutashgan ortish-tushirish joylari sxemasi

Tadqiqot o'tkazilayotgan "N" yuk stansiyasining infratuzilmasi va shoxobcha yo'llarining joylashuv holati uchun vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga olib kirib berish variantlari soni 3456 tani tashkil qiladi:

$$k = 4! \cdot (2! \cdot 3! \cdot 3! \cdot 2!) = 3456$$

Shunday qilib, 10 ta ortish-tushirish joylari stansiyaga 4 ta bog'lovchi yo'l bilan ulanganligi tufayli variantlar soni 3456 tani tashkil etadi. Ushbu mumkin bo'lgan variantlar kesimida vagonlarni yuk ortish tushirish joylariga olib kirib berishning ketma-ketligini ko'rib chiqamiz.

Dastlab vagonlarni yuk ortish tushirish joylariga olib kirib berishning mumkin bo'lgan 3456 ta variantlaridan ixtiyoriy bittasini tanlab olaylik

$$N \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow N \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow N \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow N \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow N$$

Shunday qilib, mumkin bo'lgan variantlar orasidan eng optimalini aniqlash masalasi paydo bo'ladi. Yuqorida keltirilgan vagonlarni ketma-ket olib kirish variantidan kutib qolishlarning eng kam vagon-soat tashkil etishini aniqlashning maqsadli funksiyasini quyidagicha ifodalash mumkin:

(1)-formulaga quyidagicha qo'shimchalar kiritib, variantlar sonini aniqroq ifodalash mumkin:

$$k = i! \cdot (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n) = i! \cdot \prod_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

bunda: i – yuk ortish-tushirish joylari bilan stansiyani bog'lovchi yo'llar soni $i = 4$.

O'z navbatida (2)-formulaning har bir elementi bo'lgan k_n ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$k_n = (C_p^m)! = \left(\frac{p!}{(p-m)!}\right)! \quad (3)$$

bunda: p – har bir stansiyaga ulangan tarmoqda tanlanishi mumkin bo'lgan yuk ortish-tushirish joylari soni;

m – olib kirib berish amalga oshirilishi mumkin bo'lgan obyektlar soni ($m=1$).

$$k_n = (C_p^m)! = \left(\frac{p!}{(p-m)!}\right)! = \left(\frac{p!}{(p-1)!}\right)! = \left(\frac{p \cdot (p-1)!}{(p-1)!}\right)! = p! \quad (4)$$

Ko'rilayotgan "N" stansiyaning infratuzilmasi uchun vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga uzatish variantlari sonini (4)-formulaga asosan quyidagicha ifodalash mumkin:

$$k = i! \cdot (p_1! \cdot p_2! \cdot p_3! \cdot \dots \cdot p_n!) = i! \cdot \prod_{i=1}^n p_n! \quad (5)$$

$$B = \sum_{i=1}^n u_i \cdot t_i \rightarrow \min \quad (6)$$

bunda: u – ortish-tushirish joylariga olib kirib beriladigan vagonlar soni, vagon.;

t – ortish-tushirish joylariga vagonlarni olib kirib berishdagi vaqt me'yori, soat.

Bunda quyidagi chegaralar mavjud bo'ladi:

$$0 < u_i \leq u_{max}^{fr}; \quad t_{min}^{fr} \leq t_i \leq t_{max}^{fr}$$

bunda: u_{max}^{fr} – bitta uzatishda ortish-tushirish joylariga olib kirib berilishi mumkin bo'lgan vagonlarning maksimal soni, vagon;

t_{min}^{fr} va t_{max}^{fr} – mos ravishda ortish tushirish joylarida vagonlarni olib kirib berishning minimal va maksimal vaqti, soat.

Ko'rilayotgan ketma-ketlik varianti uchun sarflanadigan vagon-soat ko'rsatkichi quyidagi 1-jadvalda keltirilgan shakldagi matritsa yordamida hisoblanadi.



1-jadval

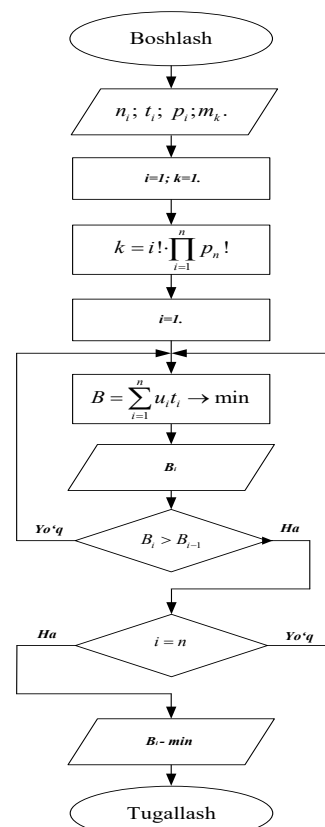
Ortish-tushirish joylariga xizmat ko'rsatishda vagon-soatlarni hisoblashning ko'rilayotgan ixtiyoriy variant matritsasi

u \ t	1,24	2,58	1,73	2,15	1,45	2,72	1,85	2,34	1,66	2,85	variant
5	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
4	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2
6	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	3
3	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	4
4	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	5
2	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	6
5	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	8
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	9
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10

$$B = 5 \cdot 1,24 + 4 \cdot (1,24 + 2,58) + 6 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73) + 3 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15) + 4 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45) + 2 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45 + 2,72) + 5 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45 + 2,72 + 1,85) + 8 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45 + 2,72 + 1,85 + 2,34) + 4 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45 + 2,72 + 1,85 + 2,34 + 1,66) + 6 \cdot (1,24 + 2,58 + 1,73 + 2,15 + 1,45 + 2,72 + 1,85 + 2,34 + 1,66 + 2,85) = 529,6 \text{ vagon-soat}$$

Ko'rinib turibdiki, o'rganilayotgan istiyoriy variant asosida vagonlarni yuk ortish tushirish joylariga olib kirib berish jarayonida 529,6 vagon-soat miqdorida kutib qolish kuzatiladi. Lekin hali optimal variant aniqlangani yo'q. Optima variant 3456 ta variant orasidagi vagon-soat ko'rsatkichi eng minimun bo'lgani hisoblanadi. Vagonlarni uzatishning 3456 ta variantlarning barchasi uchun vagon soat ko'rsatkichining har birini qo'lda hisoblash deyarli imkonsiz va juda ko'p vaqt talab etadi, hisoblash jarayonida xatolik qilish ehtimoli yuqori. Shu sababli ushbu muammoni samarali hal etish maqsadida [15] tadqiqotning davomi sifatida maxsus dasturiy ta'minot ishlab chiqildi [16]. Mazkur dastur barcha mumkin bo'lgan variantlarni avtomatik tarzda shakllantiradi va ularni birma-bir tahlil qiladi. Har bir kombinatsiya bo'yicha vagon-soat ko'rsatkichi hisoblanadi, natijada umumiy yig'indi qiymatlari aniqlanadi. So'ngra dastur olingan barcha natijalarni taqqoslaydi va ichidan eng minimal vagon-soat ko'rsatkichini ta'minlaydigan tartibni ajratib oladi. Bu yondashuv nafaqat vaqtni tejaydi, balki hisoblash jarayonida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan insoniy xatoliklarni ham bartaraf etadi.

Dastur yuqorida keltirilgan nazariy formulalar va matritsalar asosida ishlab chiqilgan maxsus algoritim bo'yicha ishlaydi. Ushbu algoritim hisoblash jarayonini bosqichma-bosqich amalga oshiradi, kiritilgan dastlabki ma'lumotlar matritsalar ko'rinishida tartiblanadi, so'ng ular yordamida barcha mumkin bo'lgan kombinatsiyalar hosil qilinadi. Har bir kombinatsiya bo'yicha (5)-formula qo'llanib, (6)-formula yordamida vagon-soat ko'rsatkichlari aniqlanadi. Olingan natijalar esa 3-rasmda ko'rsatilgan algoritim asosida solishtirib chiqiladi va eng kichik vagon-soat qiymatga ega bo'lgan optimal tartib tanlab olinadi.



3-rasm. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan dasturning ishlash algoritmi

3. Natijalar

Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan dasturning maqsadi: vagonlarni yuk ortish tushirish frontlarga optimal tartibda yetkazib berish orqali umumiy vagon-soatlarning yig'indisini minimallashtirishdan iborat.

Foydalanuvchi quyidagi ma'lumotlarni kiritadi:

- bog'lovchi yo'llar soni;
- har bir bog'lovchi yo'ldagi yuk ortish tushirish frontlar soni;
- har bir yuk ortish tushirish frontiga boradigan vagonlar soni;
- har bir yuk ortish tushirish frontiga xizmat ko'rsatish vaqti.

Dasturni muayyan stansiyada ishlatish sharoitida yuqoridagi ma'lumotlarni bir marta kiritish yetarli. Dastur



bog'lovchi yo'llarning o'zaro tartibini aniqlash uchun barcha mumkin bo'lgan variantlarni hosil qiladi. Bog'lovchi yo'llar ichida joylasgan yuk ortish-tushirish joylari tartibini ham, yo'llarning o'zaro tartiblari ham kombinatsiya qiladi. Shundan so'ng dastur barcha mumkin bo'lgan variantlar sonini (5)-formula yordamida hisoblab chiqadi. Shu tarzda vagonlarni yetkazib berishning to'liq variantlar to'plami shakllantiriladi.

Har bir variant ketma-ketligi uchun dastur quyidagilarni hisoblaydi:

- umumiy vagonlar soni;
- ularning ketma-ketligi bo'yicha umumiy xizmat ko'rsatish vaqti;
- har bir tartib uchun umumiy vagon-soatlar ko'rsatkichini (6-formula asosida).

Dastur hisoblangan barcha variantlar ichidan umumiy vagon-soatlarning eng minimum qiymatini ta'minlaydiganini tanlaydi. Natijada, dastur optimal tartibni va unga mos keluvchi umumiy vagon-soat qiymatini chiqaradi. Bu tartib – optimal vagonlarni yetkazib berish tartibi hisoblanadi.

Dasturning qay tartibda ishlashini va qanday natijalar olish mumkinligini amalda ko'rilyotgan "N" yuk stansiyasi misolida ko'rib chiqaylik:

Ishlab chiqilgan dasturning dastlabki ma'lumoti sifatida har bir yur ortish tushirish frontiga olib kiriladigan vagonlar soni va ularga xizmat ko'rsatish vaqti kiritiladi.

$u_1=5$	$t_1=1,24$
$u_2=4$	$t_2=2,58$
$u_3=6$	$t_3=1,73$
$u_4=3$	$t_4=2,15$
$u_5=4$	$t_5=1,45$
$u_6=2$	$t_6=2,72$
$u_7=5$	$t_7=1,85$
$u_8=8$	$t_8=2,34$
$u_9=4$	$t_9=1,66$
$u_{10}=6$	$t_{10}=2,85$

Ushbu ma'lumotlarni dasturga 3-rasmda ko'rsatilgan tartibda kiritish zarur.

Введите количество соединительных путей: 4
Введите номер фронтов в пути 1 через пробел (например: 1 2): 1 2
Введите количество вагонов для 1: 5
Введите время подачи/возврата для 1: 1.24
Введите количество вагонов для 2: 4
Введите время подачи/возврата для 2: 2.58
Введите номер фронтов в пути 2 через пробел (например: 1 2): 3 4 5
Введите количество вагонов для 3: 6
Введите время подачи/возврата для 3: 1.73
Введите количество вагонов для 4: 3
Введите время подачи/возврата для 4: 2.15
Введите количество вагонов для 5: 4
Введите время подачи/возврата для 5: 1.45
Введите номер фронтов в пути 3 через пробел (например: 1 2): 6 7 8
Введите количество вагонов для 6: 2
Введите время подачи/возврата для 6: 2.72
Введите количество вагонов для 7: 5
Введите время подачи/возврата для 7: 1.85
Введите количество вагонов для 8: 8
Введите время подачи/возврата для 8: 2.34
Введите номер фронтов в пути 4 через пробел (например: 1 2): 9 10
Введите количество вагонов для 9: 4
Введите время подачи/возврата для 9: 1.66
Введите количество вагонов для 10: 6
Введите время подачи/возврата для 10: 2.85

4-rasm. Dastlabki ma'lumotlarni dasturga kiritish fragmenti

Ishlab chiqilgan dasturdan foydalanish vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga yetkazib berishning optimal ketma-ketligini samarali aniqlash imkonini beradi (5-rasm). Optimal tartibni qo'llash umumiy vagon-soat ko'rsatkichini minimallashtirishni ta'minlaydi va natijada vagonlarning turish vaqtini qisqartirish hamda manyovr operatsiyalari sonini kamaytirishga sabab bo'ladi.

Общее количество возможных вариантов подачи вагонов: 3456

Оптимальный порядок подачи групп:

3 → 5 → 4 → 1 → 2 → 9 → 10 → 8 → 7 → 6

Минимальные вагоно-часы: 492,13

Process finished with exit code 0

5-rasm. Hisob-kitoblar natijalari va vagonlarni optimal ketma-ketlikda olib kirib berishning tahlili

Dastur taqdim etgan ma'lumotga ko'ra vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga olib kirib berishning eng optimal varianti:

$N \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow N \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow N \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow N \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow N$

Vagonlarni yuk ortish-tushirish joylariga yetkazib berishni vagon-soat ko'rsatkichining minimal qiymati mezoni asosida optimallashtirish algoritmining iqtisodiy samaradorligini baholash uchun ixtiyoriy hisoblangan variant va dastur taqdim etgan natijalarni solishtirish yetarli bo'ladi.

2-jadval

Оrtish-tushirish joylariga xizmat ko'rsatishda vagon-soatlarni hisoblash natijalarining qiyosiy tahlili

Ixtiyoriy	Optimal
$N-1-2-N-3-4-5-N-6-7-8-N-9-10-N$	$N-3-5-4-N-1-2-N-9-10-N-8-7-6-N$
529,6 vagon-soat	492,13 vagon-soat

4. Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, yuk stansiyalarida vagonlarni ortish-tushirish joylariga olib kirib berish jarayonida variantlar soni juda ko'p bo'lib, ularni samarali tanlash transport jarayonining umumiy ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. "N" yuk stansiyasi misolida ko'rib chiqilgan infratuzilma sharoitida (10 ta yuk ortish-tushirish joylari) kombinatorik yondashuv va qo'shimcha matematik formulalardan foydalanish natijasida vagonlarni uzatishning 3456 ta varianti mavjudligi aniqlandi.

Tadqiqotning amaliy natijalari yuk ortish-tushirish joylariga bitta lokomotiv yordamida vagonlarni yetkazib berishni optimallashtirishga mo'ljallangan ishlab chiqilgan dastur hisoblanib, u vagonlarning umumiy kutib qolish vaqtini samarali tarzda minimallashtiradi hamda manyovrlar ketma-ketligining optimal variantini aniqlash imkonini beradi. Vagonlarni ketma-ket olib kirib berish jarayonida optimal variantni tanlash vagon-soat ko'rsatkichini sezilarli darajada kamaytiradi. Bu esa, mazkur masalani optimallashtirish zarurligini va ishlab chiqilgan matematik yondashuv va dasturiy ta'minotning amaliy ahamiyatini isbotlaydi. Dastur bergan natijalarga ko'ra xizmat ko'rsatishning optimal varianti $N-3-5-4-N-1-2-N-9-10-N-8-7-6-N$ hisoblanadi va ushbu tartibda yuk ortish tushirish joylariga xizmat ko'rsatishda kutib qolishlar 492,13 vagon-soatni tashkil etadi.



Ishlab chiqilgan dasturni amaliyotda qo'llash manyovr jarayonlarini yanada mukammal rejalashtirish va muvofiqlashtirish imkonini yaratadi, bu esa stansiyaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish hamda lokomotiv resurslaridan ratsional foydalanishga zamin yaratadi. Ushbu yondashuv yuk stansiyalarida temir yo'l transporti faoliyati samaradorligini oshirish, ortiqcha kutish vaqtlarini qisqartirish va ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Kelgusida tizimni ikki va undan ortiq lokomotivlar bilan ishlash sharoitlarini ham hisobga olish imkoniyatlarini kengaytirish rejalashtirilmoqda. Bunday yondashuv ishlab chiqarish samaradorligi va boshqaruv jarayonlarining moslashuvchanligini yanada oshirish bilan birga, murakkab transport infratuzilmasi sharoitida resurslarni aniq va oqilona taqsimlashga erishish imkonini beradi

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Najenov D.Ya. Qo'shimcha manyovr lokomotivini jalb etish asosida temir yo'l transportining asosiy foydalanish ko'rsatkichlarini yaxshilash / Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun tayyorlangan dissertatsiya. Toshkent: TDTU. – 2025. – 148 b.
- [2] Moldenhauer C., Germann P., Heimhofer C., Spieckermann C., Andresen A. Real-time Optimization of Transport Chains for Single Wagon Load Railway Transport // arXiv. – 2025. – № 2507.06621. – URL: <https://arxiv.org/abs/2507.06621> (дата обращения: 19.09.2025).
- [3] Qiu J., Xu S., Tang M., Liu J., Song H. Optimization of shunting operation plan in large freight train depot based on DQN algorithm // PLoS ONE. – 2025. – Vol. 20, № 8. – DOI: 10.1371/journal.pone.0320762.
- [4] Guo C. Optimization of delivering and fetching wagons at goods operation stations // Mathematical Problems in Engineering. – 2022. – Article ID 8803209. – DOI: 10.1155/2022/8803209.
- [5] Li B. Optimization of simultaneous delivery and pickup wagon flows // Journal of Advanced Transportation. – 2022. – Article ID 6713617. – DOI: 10.1155/2022/6713617.
- [6] Сатторов С.Б. Организация перевозок местных грузов на железных дорогах Республики Узбекистан в условиях увеличения транзитного грузопотока: дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2022. – 163 с.
- [7] Псеровская Е.Д. Оценка влияния основных параметров грузовой станции на её перерабатывающую способность // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2017. – № 6. – С. 75–82.
- [8] Григорьев П.С. Оценка ресурса несущей конструкции маневрового локомотива ТЭМ2 железных дорог Республики Узбекистан // Вестник науки и образования. – 2025. – № 3. – С. 41–48.
- [9] Хамидов О.Р. Прогнозирование остаточного ресурса главной рамы и продление сроков службы маневровых локомотивов на АО «УТЙ» // Наука и образование сегодня. – 2022. – № 12. – С. 60–67.

[10] Li H., Chen H., Wang Y. The Sequence Optimization of the Railway Tree-Shaped Special Line's Shunting for Taking-out and Placing-in of Wagons // Technical Gazette. – 2023. – Vol. 30, № 5. – P. 1404–1410.

[11] Qiu J., Xu S., Tang M., Liu J., Song H. Optimization of shunting operation plan in large freight train depot based on DQN algorithm // PLoS ONE. – 2025. – Vol. 20, № 8. – DOI: 10.1371/journal.pone.0320762. – URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11978120>

[12] Chen H., Liu W., Oldache M., Pervez A. Research on Train Loading and Unloading Mode and Scheduling Optimization in Automated Container Terminals // Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – Vol. 12, № 8. – Article 1415. <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/8/1415>

[13] Han P., Meng L., Luan X., Bešinović N., Miao J., Wang Y., Liao Z. Integrated Optimization of Train Makeup Problem and Resource Scheduling in Railway Shunting Yards: A Hybrid MILP-CP Approach with Logic-Based Benders Decomposition // SSRN. – 2024. <https://ssrn.com/abstract=5018458>

[14] Zhang Q. Loading and Unloading Resource Scheduling Minimization of Working Time of Equipment and Stay Time of Trains in Station // Journal of Advanced Transportation. – 2020. DOI: 10.1155/2020/6972123. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2020/6972123>

[15] Baqoyev A.T., Yusupov A.Q., Rustamjonov B.E. Vagonlarni yuk ortish-tushirish frontlariga olib kirib berish va olib chiqish ketma-ketligini tanlash // Journal of Transport. – 2025. – №2. – 172-176-b.

[16] Toxirov O.Z., Baqoyev A.T., Rustamjonov B.E., Po'latova M.J. Vagonlarni bitta lokomotivdan foydalangan holda yuk ortish-tushirish joylariga olib kirib berish ketma-ketligini tanlash / O'zbekisto Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi tomonidan berilgan guvohnoma. DGU 52271. 03.06.2025-y.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Tohirov Og'abek Zohidjon o'g'li / Ogabek Tohirov	Toshkent davlat transport universiteti "Transport tizimlari boshqaruvi" fakulteti talabasi E-mail: ogabektohirov2002@gmail.com Tel.: +998 95 015 15 15 https://orcid.org/0009-0006-9147-0033
Baqoyev Alisher Tel'mon o'g'li / Alisher Bakoyev	Toshkent davlat transport universiteti "Temir yo'ldan foydalanish ishlarini boshqarish" kafedrası magistranti E-mail: baqoyeva08@gmail.com Tel.: +998 94 006 62 00 https://orcid.org/0009-0003-0655-0484
Rustamjonov Boburjon Erkinjon o'g'li / Boburjon Rustamjonov	Toshkent davlat transport universiteti "Temir yo'ldan foydalanish ishlarini boshqarish" kafedrası tayanch doktoranti E-mail: rustamjonov27071996@gmail.com Tel.: +998 97 708 23 27 https://orcid.org/0009-0007-5775-3870



G. Berdiev, S. Ochilova, N. Khujakulov

Analytical methods of musical composition based on fractal theory.....136

S. Boltaev, Z. Toshboev, I. Yuldashev, B. Ganijonov

Improvement of the method for detecting obstacles in front of moving trains and development of its algorithm.....140

**S. Soatov, E. Sottikulov, B. Elmuradov,
M. Ishmukhamedova**

Laboratory synthesis of a plasticizer based on phthalic anhydride, ethylene glycol, and isoamyl alcohol.....145

O. Tohirov, A. Bakoev, B. Rustamjonov

Optimization of the process of delivering wagons to loading and unloading sites at railway stations using a single locomotive.....148

M. Ubaydullaev, R. Gizatulin, E. Ruklinskaya, U. Kosimov

Improvement of the strength properties of the restored wheel set rack using the chemical-thermal method of carbonitriding.....154

U. Ergashev

Requirements for attachments for sliding rail lashes of seamless track.....159

U. Ergashev

Technology for replacing inventory rails with rail bundles using attachments.....163

Kh. Ruziev

Evaluating the effectiveness of regional investment activity: evidence from Kashkadarya region.....166

**U. Shermukhamedov, A. Karimova, A. Abdullaev,
Sh. Tayirov**

Optimal bridge parameter selection and earthquake-resistant design based on real earthquake records for seismic risk mitigation in transportation structures within active seismic zones.....171