

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 2, 2026 vol. 3

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 3, ISSUE 2

JUNE, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 2 JUNE, 2026

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.

**JOURNAL OF TRANSPORT
SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL
VOLUME 3, ISSUE 2 JUNE, 2026**

EDITORIAL BOARD

Viktor A. Sidorov

Professor, Doctor of Economic Sciences, Kuban State University

Olga I. Kopytenkova

Professor, Doctor of Medical Sciences, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Oksana D. Pokrovskaya

Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Oleg R. Ilyasov

Professor, Doctor of Biological Sciences, Ural State Transport University

Timur T. Sultanov

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Euroasian National University

Dmitriy V. Efanov

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Russian University of Transport (MIIT)

Oyum T. Balabayev

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University

Shinpolat M. Suyunbaev

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

Khasan M. Kamilov

Associate Professor, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

Odil A. Turdiev

Associate Professor, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

Yashnarjon R. Juraev

Associate Professor, Doctor of Philosophy in Pedagogical Sciences, Tashkent State Transport University

Analysis of remote real-time monitoring of the technical condition of aircraft engines based on IoT systems

I.S. Maturazov¹^a, A.B. Turdimurodov¹^b, S.I. Otaboev¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Post-flight maintenance is a key factor in flight safety, influencing the reliability and longevity of aircraft. With the advancement of aviation technologies, maintenance requirements are becoming more stringent to ensure compliance with regulations and prevent failures. Maintenance procedures include external inspections, engine diagnostics, fluid checks, and flight data analysis to identify potential risks. However, language barriers and communication challenges in international teams can lead to errors. These issues can be addressed through multilingual training, the use of AI for translation, and standardized protocols. Additionally, modern technologies such as artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), drones, and augmented reality (AR) contribute to predictive maintenance by integrating traditional methods with innovative solutions, ultimately enhancing flight safety.

Keywords: maintenance, repair, reliability, safety, airworthiness, communication

IoT tizimlari asosida aviatsiya dvigatellarning real vaqtdagi texnik holatini masofaviy monitoringining tahlili

Maturazov I.S.¹^a, Turdimurodov A.B.¹^b, Otaboyev S.I.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada aviatsiya dvigatellarining texnik holatini nazorat qilish tizimlarida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, xususan, Internet of Things (IoT) va sun'iy intellekt elementlaridan foydalanish masalalari tahlil qilinadi. An'anaviy bort nazorat tizimlarining cheklavlari ko'rib chiqilib, real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, uzatish va tahlil qilishga asoslangan yangi yondashuvlar taklif etiladi. IoT asosidagi monitoring tizimlarining arxitekturasini, ishlash prinsiplari va ularning aviatsiya xavfsizligi hamda texnik xizmat ko'rsatish samaradorligiga ta'siri ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: IoT, aviatsiya dvigatellari, real vaqt monitoringi, masofaviy diagnostika, texnik holat nazorati, prognozli texnik xizmat, PHM tizimlari

1. Kirish

Aviatsiya texnikasining ishonchligi va xavfsizligi zamonaviy fuqaro aviatsiyasining eng muhim talablaridan biridir. Samolyot dvigatellari murakkab mexanik va elektron tizimlardan tashkil topgan bo'lib, ularning texnik holatini doimiy ravishda nazorat qilish parvoz xavfsizligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. An'anaviy nazorat tizimlari asosan bortdagi "qora quti" qurilmasiga asoslanib, ma'lumotlar parvoz yakunlangandan keyin tahlil qilinadi. Bunday yondashuv nosozliklarni erta aniqlash imkoniyatini cheklaydi.

So'nggi yillarda IoT texnologiyalarining jadal rivojlanishi aviatsiya sohasida ham yangi imkoniyatlarni ochib berdi. Real vaqt rejimida masofadan monitoring qilish, katta hajmdagi ma'lumotlarni bulutli platformalarda qayta ishlash va sun'iy intellekt yordamida tahlil qilish dvigatellarning texnik holatini samarali boshqarishning zamonaviy yo'nalishiga aylandi.

Hozirgi kunda samolyotlarda o'rnatilgan dvigatel monitoring tizimlari asosan parvoz paytida asosiy

parametrlarni qayd etish va ularni bort xotirasida saqlashga mo'ljallangan. Bunday tizimlar dvigatel harorati, bosim ko'rsatkichlari, yoqilg'i sarfi, vibratsiya darajasi hamda aylanish tezligi kabi parametrlarni nazorat qiladi. Biroq amaldagi tizimlar quyidagi kamchiliklarga ega:

- ma'lumotlar real vaqt rejimida yer stansiyasiga uzatilmaydi;
- nosozliklar faqat parvozdan keyin aniqlanadi;
- katta hajmdagi ma'lumotlarni uzatish qimmatga tushadi;
- diagnostika asosan reallik xarakterga ega bo'lib, prognozlash mexanizmlari yetarli darajada rivojlanmagan. [1; 2].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Asosiy qism. IoT asosidagi aviatsiya dvigatellarini monitoring qilish

^a <https://orcid.org/0009-0003-4781-1601>

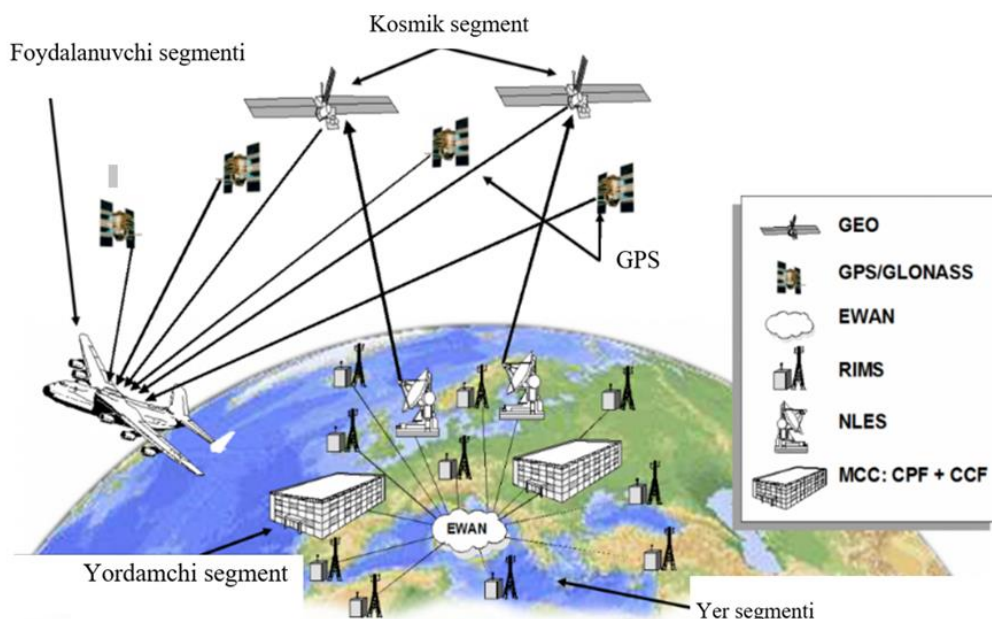
^b <https://orcid.org/0009-0003-6438-3960>

^c <https://orcid.org/0009-0008-7258-7361>



Sun'iy yo'ldoshga asoslangan aloqa tizimlarining havo vositasida Wi-Fi yaratishning asosan ikkita usuli mavjud. Aviatsiya sohasida eng keng tarqalgan va istiqbolli

yechimlardan biri – sun'iy yo'ldosh aloqa tizimlaridan foydalanishdir.



2- rasm. Sun'iy yo'ldoshga asoslangan aloqa tizimi

Mazkur texnologiya samolyot bortidagi ma'lumotlarni Yer orbitasida joylashgan sun'iy yo'ldoshlar orqali to'g'ridan-to'g'ri yer stansiyalariga uzatishga imkon beradi. Bu usul global qamrovni ta'minlashi bilan ajralib turadi va parvoz yo'nalishidan qat'i nazar barqaror aloqani kafolatlaydi. Sun'iy yo'ldosh aloqa tizimlari odatda uch asosiy chastota diapazonida ishlaydi:

- L-diapazon – nisbatan past tezlikka ega bo'lsada, signal barqarorligi juda yuqori bo'lib, ob-havo sharoitlariga kam sezgir hisoblanadi;

- Ku-diapazon – o'rtacha tezlik va yuqori sifatli ma'lumot uzatishni ta'minlaydi, ko'plab aviakompaniyalar tomonidan keng qo'llaniladi;

- Ka-diapazon – eng zamonaviy va yuqori o'tkazuvchanlikka ega diapazon bo'lib, bir samolyot uchun 20–40 Mbps va undan yuqori tezliklarda ma'lumot uzatish imkonini beradi.

Sun'iy yo'ldosh texnologiyasining asosiy afzalliklari:

- global qamrov va uzluksiz aloqa imkoniyati;
- katta hajmdagi ma'lumotlarni real vaqt rejimida uzatish;

- okeanlar, tog'li va chekka hududlarda ham barqaror ishlash;

- IoT asosidagi monitoring tizimlari uchun yetarli o'tkazuvchanlik.

Shu bilan birga, ushbu tizimlarning kamchiliklari sifatida bort uskunalarning nisbatan yuqori narxi, xizmat ko'rsatish xarajatlarining kattaligi va ayrim hollarda signal kechikishining mavjudligini ko'rsatish mumkin. Aviatsiya dvigatellarini masofaviy monitoring qilish tizimini loyihalashda ma'lumot uzatish texnologiyasini tanlash quyidagi omillarga bog'liq:

- uzatilishi zarur bo'lgan ma'lumotlar hajmi;

- real vaqt rejimi talablari;
- parvoz yo'nalishlarining geografik xususiyatlari;
- iqtisodiy samaradorlik;
- tizimning ishonchligi va xavfsizlik talablari.

Amaliyotda ko'pincha gibril yondashuv qo'llanilib, quruqlik ustidagi parvozlarda Yer–Havo texnologiyasi, uzoq masofali va okean orqali parvozlarda esa sun'iy yo'ldosh aloqasi birgalikda ishlatiladi. Bunday integratsiyalashgan tizim IoT asosidagi dvigatel monitoringi uchun eng maqbul va ishonchli yechim hisoblanadi.

O'rganilgan mavjud monitoring va diagnostika tizimlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, aviatsiya dvigatellarining texnik holati bo'yicha doimiy va sifatli ma'lumotlarni real vaqt rejimida olish murakkab texnologik jarayon hisoblanadi. Amaldagi tizimlarda axborot almashinuvi ko'pincha aloqa kanallarining barqaror emasligi, ma'lumot uzatish tezligining yetarli darajada bo'lmashligi yoki aloqa infratuzilmasining qimmatligi sababli cheklangan bo'ladi. Bundan tashqari, ayrim hollarda uzatish jarayonida ma'lumotlarning yo'qolishi yoki uzilishlar yuzaga kelishi tizimning samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli, zamonaviy IoT texnologiyalari asosida yig'ilgan ma'lumotlarni kompleks tahlil qilish va ulardan foydalangan holda yangi avlod diagnostika tizimlarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Bunday tizimlar havo kemasi va uning dvigatellarida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarni parvoz jarayonining o'zida aniqlash, ularni oldindan bashorat qilish hamda texnik xizmat ko'rsatish jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi.

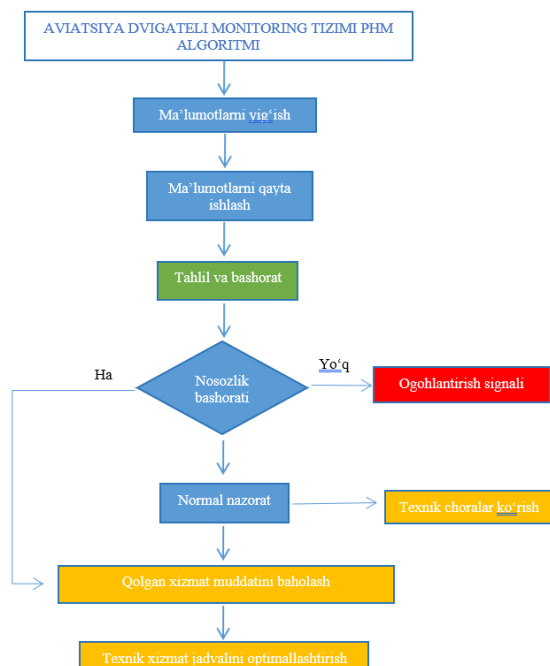
Taklif etilayotgan IoT asosidagi aviatsiya dvigateli monitoring tizimi bir qator muhim apparat va dasturiy komponentlarni o'z ichiga oladi. Tizimning asosini dvigatelning ish holatini tavsiflovchi parametrlarni o'lchovchi turli xil sensorlar tashkil etadi. Xususan, harorat,



bosim, yoqilg'i darajasi, vibratsiya va tezlanish sensorlari dvigatelning real vaqtidagi holatini uzluksiz nazorat qilib boradi. Ushbu sensorlardan kelayotgan ma'lumotlar markaziy boshqaruv elementi – mikrokontroller yordamida yig'iladi va dastlabki qayta ishlashdan o'tkaziladi. Amaliy loyihalarda bunday vazifalar uchun ko'pincha ARM LPC2148 turidagi mikrokontrollerlardan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Yig'ilgan ma'lumotlarni masofadan uzatish uchun tizimda ESP8266 kabi Wi-Fi moduli qo'llaniladi. Mazkur modul sensorlardan olingan ma'lumotlarni simsiz aloqa kanallari orqali bulutli serverlarga yoki yer stansiyasidagi monitoring markaziga uzatishni ta'minlaydi. Bundan tashqari, samolyotning aniq joylashuvini aniqlash va monitoring ma'lumotlari bilan integratsiya qilish maqsadida GPS qurilmasi tizim tarkibiga kiritiladi. Tizimning dasturiy qismi esa bulutli server va veb-interfeysdan iborat bo'lib, u real vaqt rejimida kelayotgan ma'lumotlarni saqlash, vizualizatsiya qilish hamda tahlil qilish imkonini beradi. Veb-interfeys orqali operatorlar dvigatel parametrlarini kuzatishi, nosozliklar haqida tezkor xabarnomalar olishi va zarur hollarda tegishli qarorlar qabul qilishi mumkin. Sensorlardan olingan ma'lumotlar mikrokontroller orqali qayta ishlanib, IoT tarmog'i yordamida yer stansiyasidagi veb-platfomaga uzatiladi. Barcha parametrlar real vaqt rejimida aks ettiriladi hamda ma'lumotlar bazasida saqlanadi.

Taklif etilayotgan tizimning eng muhim jihatlaridan biri – Prognostics and Health Management (PHM) yondashuvining qo'llanilishidir. Ushbu yondashuv qurilmalarning qolgan xizmat muddatini bashorat qilish, ehtimoliy nosozliklarni oldindan aniqlash, texnik xizmat ko'rsatish jadvalini optimallashtirish hamda rejasiz ta'mirlar sonini kamaytirish imkonini beradi. Ma'lumotlarga asoslangan tahlil algoritmlari yordamida har bir nazorat parametri uchun kritik chegaralar belgilanadi va ushbu chegaralar buzilgan hollarda tizim avtomatik ravishda ogohlantirish signallarini shakllantiradi.



3- rasm. Taklif etilayotgan tizimning algoritmi

IoT asosidagi masofaviy monitoring tizimi aviatsiya sohasida muhim amaliy ahamiyatga ega bo'lib, parvoz xavfsizligini oshirish, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish, dvigatel resursidan samarali foydalanish hamda nosozliklarni erta bosqichda aniqlashni ta'minlaydi. Bundan tashqari, ekspluatatsiya jarayonlarini to'liq raqamlashtirish va real vaqt rejimidagi ma'lumotlar asosida favqulodda vaziyatlarda tezkor va asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini yaratadi.

3. Xulosa

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, IoT texnologiyalarini aviatsiya dvigatellarining texnik holatini nazorat qilish tizimlariga joriy etish an'anaviy yondashuvlarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega. Real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish va tahlil qilish imkoniyati nosozliklarni oldindan aniqlash, prognozli texnik xizmat ko'rsatish va ekspluatatsion xavflarni kamaytirishga xizmat qiladi. Taklif etilgan tizim aviatsiya sohasini raqamlashtirish jarayonining muhim tarkibiy qismi bo'lib, kelajakda sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar va avtonom boshqaruv texnologiyalari bilan integratsiyalashuvi orqali yanada yuqori samaradorlikka erishishga olib keladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Abdukayumov A., Maturazov I.S. Improvement of radio electronic equipment diagnostic system / AIP Conference Proceedings 2432, 030044. – 2022. (SCOPUS).
- [2] Abdukayumov A., Maturazov I.S. Research on aircraft remote diagnostics system / Научный журнал транспортных средств и дорог. – Тошкент, 2022. – №3. – С. 139-145.
- [3] Bedilov O.T., Khaitov B.M. Technical Maintenance and Repair of Aircraft. Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences. (E)ISSN: 2181-1784. (2024)
- [4] Eric Bearton. IoT and AI in Aviation: Reducing Downtime and Increasing Efficiency. <https://www.internationalairportreview.com> (2024).
- [5] Tajinder K. S., Ravi D. M., Arvind S., Navdeep S. Integration of IoT Sensors, Artificial Intelligence Technologies, and Devices in Hybrid and Electric Aviation. Application of Artificial Intelligence in the Internet of Things: The World of Today and Tomorrow. Cambridge Scholars Publishing. (2024).
- [6] Munirah M. F., Izamarlina A., Muhammad C. A. Sh., Abdul G. A. S., Puteri N. S. W. A Study of the Causes and Consequences of Communication Errors Among Technical Personnel. Jurnal Kejuruteraan 6(2):121–126. DOI: 10.17576/jkukm-2023-si6(2)-13. (2023).



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

Maturazov I.S. / I. Matuzarov
Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti" dekani, (PhD),
E-mail: maturazov_i@tstu.uz
Tel.: +998712990357
<https://orcid.org/0009-0003-4781-1601>

Turdimurodov A.B. / A. Turdimurodov
Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya injiniringi" kafedrası talabasi.
E-mail: sazamatturdimurodov6701206@gmail.com
Tel.: +998996701206
<https://orcid.org/0009-0003-6438-3960>

Otaboyev S.I. / S. Otaboev
Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya injiniringi" kafedrası talabasi.
E-mail: sardorbekotaboyev73@gmail.com
Tel.: +998 90 438 94 14
<https://orcid.org/0009-0008-7258-7361>



Prediction of technical failures in aircraft based on artificial intelligence

I.S. Maturazov¹^a, A.B. Turdimurodov¹^b, S.I. Otaboev¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In aviation, predictive technologies powered by Artificial Intelligence (AI) are fundamentally transforming aircraft maintenance and operational practices. AI algorithms analyze data collected from various aircraft sensors to detect potential failures before they occur, enabling timely and efficient maintenance. This proactive approach (the ability to foresee, prevent, and prepare for potential issues before they arise) reduces unplanned delays, improves safety, and lowers maintenance costs. The use of AI in predictive maintenance allows continuous monitoring and analysis of aircraft components by leveraging machine learning, data analytics, and technologies such as the Internet of Things (IoT).

Keywords: predictive maintenance for aircraft, Artificial Intelligence (AI), AWS (Amazon Web Services), Internet of Things (IoT), SageMaker training modules, predictive models

Sun'iy intellekt asosida havo kemalarida texnik nosozliklarni oldindan bashoratlash

Maturazov I.S.¹^a, Turdimurodov A.B.¹^b, Otaboev S.I.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Aviatsiyada sun'iy intellekt (AI) yordamida amalga oshiriladigan oldindan bashorat qiluvchi texnologiyalar samolyotlarga texnik xizmat ko'rsatish va ekspluatatsiya qilish usullarini tubdan o'zgartirmoqda. Turli samolyot sensorlaridan olingan ma'lumotlarni tahlil qiluvchi AI algoritmlari ro'y berishi mumkin bo'lgan nosozliklarni sodir bo'lmisidan oldin aniqlay oladi, bu esa o'z vaqtida va samarali texnik xizmat ko'rsatishni ta'minlaydi. Ushbu proaktiv yondashuv (muammo yoki vaziyat **kelib chiqishidan oldin** uni oldindan ko'ra bilish, **oldini olish** va tayyor choralar ko'rish usuli) rejalashtirilmagan kechikishlarni kamaytiradi, xavfsizlikni oshiradi va texnik xizmat xarajatlarini pasaytiradi. Bashoratli texnik xizmatlarda AI dan foydalanish o'rganish, ma'lumotlarni tahlil qilish va IoT (Internet of things-narsalar interneti) kabi texnologiyalarni qo'llab, samolyot komponentlarining holatini doimiy ravishda monitoring qilish va tahlil qilish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: samolyotlar uchun bashoratli texnik xizmat, sun'iy intellekt (AI), AWS (Amazon Web Services), narsalar interneti (IoT), SageMaker o'quv modullari, bashorat modellari

1. Kirish

Bugungi kunda aviakompaniyalar kuchli raqobatga duch kelmoqda va yo'lovchilar avvalgidan ham iqtisodiy va tejamkor bo'lib qolgan, bu esa aviakompaniyalarga xarajatlarni kamaytirishning yangi usullarini izlashda doimiy undamoqda. Xarajatlarni tejash mumkin bo'lgan muhim sohalardan biri – texnik xizmat ko'rsatishdir. So'nggi yillarda samaradorlik oshgan bo'lsa-da, texnik xizmat xarajatlarining 20 foizdan ortig'i hali ham rejalashtirilmagan xizmatlar hisobiga bo'lmoqda, bu esa qo'shimcha yoqilg'i sarfini taxminan 5 foizga oshiradi. Ushbu kutilmagan muammolar nafaqat xarajatlarni oshiradi, balki yo'lovchilarga kechikish va noqulayliklar keltiradi.

Bashoratlovchi texnik xizmatlar va ma'lumotlarni tahlil qilish ushbu muammolarga samarali yechim taklif qiladi. Zamonaviy texnologiyalar yordamida samolyot komponentlarining holatini doimiy monitoring qilish va mumkin bo'lgan nosozliklarni sodir bo'lishidan oldin

aniqlash orqali aviakompaniyalar texnik xizmatni samaraliroq rejalashtira oladi. Ushbu proaktiv yondashuv rejalashtirilmagan to'xtashlarni kamaytiradi, xavfsizlikni oshiradi va umumiy texnik xizmat xarajatlarini pasaytiradi.

Biroq, bashoratli texnik xizmatni joriy etish oson emas. Aviakompaniyalar yangi texnologiyalarga sarmoya kiritishi va xodimlarni ularni qo'llashga o'rgatishi lozim. Shuningdek, samolyotning holatini to'liq ko'rish uchun sensorlar va texnik xizmat yozuvlari kabi turli manbalardan ma'lumotlarni birlashtirish zarur. Bundan tashqari, aviatsiya organlarining yangi texnologiyalardan foydalanishga ruxsat berishi talab qilinadigan normativ va muvofiqlik masalalari ham mavjud.

Bashoratli texnik xizmat samolyotlarni mukammal holatda saqlashning aqlli usulidir. An'anaviy, belgilangan jadvalga tayanib ta'mirlash o'rniga, biz texnologiyalardan foydalangan holda samolyotning real vaqt rejimidagi ishlashini kuzatamiz. Tasavvur qiling, samolyot mayda sensorlar bilan qoplangan. Ushbu sensorlar dvigatel ishlashi

^a  <https://orcid.org/0009-0003-4781-1601>

^b  <https://orcid.org/0009-0003-6438-3960>

^c  <https://orcid.org/0009-0008-7258-7361>



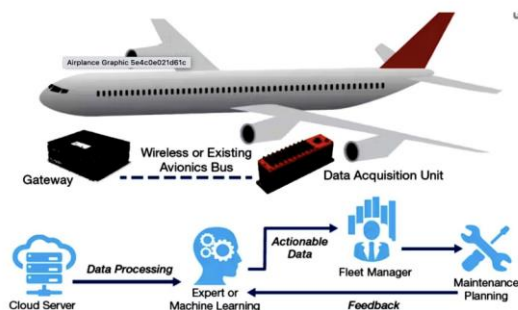
va komponentlarning eskirish darajasi kabi barcha ma'lumotlarni yig'adi. Kompyuterlar ushbu ma'lumotlarni tahlil qilib, tendensiyalarni aniqlaydi. Agar biror narsa odatdagidan farq qiladigan bo'lsa, bu bizga potentsial muammo haqida signal beradi.

Bu esa ta'mir va almashtirish ishlarini favqulodda holatga aylanishidan oldin bilish va rejalashtirish imkonini beradi. Bu xavfsizroq, samaraliroq va aviakompaniyalar uchun sezilarli xarajatlarni tejaydi. Shu bilan birga, yo'lovchilar kutilmagan texnik nosozliklar tufayli parvoz kechikishi yoki bekor qilinish ehtimoli kamligini bilib, ko'proq ishonch bildiradilar.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Bashoratli texnik xizmat va ma'lumotlarni tahlil qilish

Bashoratli texnik xizmat har bir samolyot tomonidan yaratilgan ma'lumotlarni va operatsion ma'lumotlarni birlashtirib, samolyotdagi tizimlarning holatini aniqlashga yordam beradi. Samolyotdagi sensorlar havo bosimi, harorat, havo tezligi va yoqilg'i oqimi kabi muhim parametrlarni kuzatadi. Ushbu sensorlar tizimning optimal ishlashini ko'rsatadigan qimmatli ma'lumotlarni taqdim etadi. Aksincha, agar ma'lumotlar avionika tizimida muammo borligini ko'rsatadigan bo'lsa, tegishli texnik xizmatni qulay vaqtda rejalashtirish mumkin bo'ladi. Ideal holda, bashoratli texnik xizmat ma'lumotlari aviatsiya kompaniyasiga avionika tizimi ishlash samaradorligi sezilarli darajada pasayishidan yoki eng yomoni butunlay ishlamay qolishidan oldin qancha vaqt borligini aniqlash imkonini berishi kerak.



1-rasm. Samolyotlar uchun bashoratli texnik xizmat jarayoni

Ushbu rasm samolyotlar uchun bashoratli texnik xizmat jarayonini ko'rsatadi. Bu jarayon ma'lumotlarni yig'ish, qayta ishlash va amaliy tavsiyalar berish orqali texnik xizmatni rejalashtirishni yaxshilashga qaratilgan.

Quyida uning tarkibiy qismlari va ularning vazifalari batafsil bayon qilingan:

Bashoratli texnik xizmat tizimining tarkibiy qismlari:

- Samolyot va sensorlar: Samolyot turli sensorlar bilan jihozlangan bo'lib, ular havo bosimi, harorat, havo tezligi va yoqilg'i oqimi kabi muhim parametrlarni kuzatadi. Ushbu sensorlar real vaqt rejimida ma'lumot to'playdi, bu esa samolyotdagi turli tizimlarning holatini baholash uchun juda muhimdir.

- Ma'lumotlarni yig'ish bloki (Data Acquisition Unit, DAU): Sensorlar tomonidan to'plangan ma'lumotlar

DAU ga uzatiladi. Bu blok barcha sensor ma'lumotlarini yig'ish va uzatishga tayyorlash uchun javob beradi.

- Simli yoki simsiz avionika magistrali: DAU ma'lumotlarni simsiz yoki mavjud avionika magistralari orqali gateway (oraliq blok) ga yuboradi. Bu samolyotdan yer tizimlariga ma'lumot uzatishni uzluksiz ta'minlaydi.

- Gateway (oraliq blok): Gateway samolyotdan bulutli serverga ma'lumot uzatishni osonlashtiradigan vosita sifatida ishlaydi. U ma'lumotlarni xavfsiz va samarali tarzda uzatishini ta'minlaydi.

- Bulut serveri: Ma'lumotlar bulut serveriga yetib borgach, u saqlanadi va qayta ishlash uchun tayyor bo'ladi. Bulut serverlari katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash imkonini beradi.

- Ma'lumotlarni qayta ishlash: Bulutda saqlangan ma'lumotlar ilg'or algoritmlar yordamida qayta ishlanadi. Bu jarayon ma'lumotlarni tozalash, standartlashtirish va dastlabki tahlilni o'z ichiga oladi, shuningdek, potentsial muammolarni ko'rsatadigan grafiklar yoki anomalialarni aniqlaydi.

- Ekspertlar yoki o'z-o'zidan o'rganish (Machine Learning): Qayta ishlangan ma'lumotlar ekspertlar yoki mashinali ML modellari tomonidan tahlil qilinadi. ML algoritmlari tarixiy ma'lumotlar asosida naqshlarni aniqlash va nosozliklarni bashorat qilish uchun tayyorlangan. Ushbu modellar samolyot tizimlarining holati haqida tushuncha beradi va texnik xizmat qachon kerakligini oldindan prognoz qilish imkonini beradi.

Amaliy ma'lumotlar: ML modellari yoki ekspertlar tomonidan yaratilgan tushunchalar amaliy ma'lumotlarga aylantiriladi. Bu shuni anglatadiki, ma'lumotlar oson tushuniladigan va ularga asoslanib harakat qilish mumkin bo'lgan shaklda taqdim etiladi.

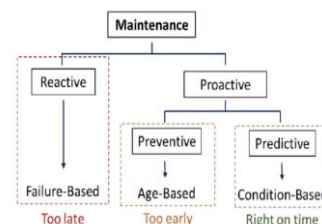
Flot menejeri: Amaliy ma'lumotlar samolyot flotining umumiy texnik xizmati va ekspluatatsiyasiga mas'ul bo'lgan flot menejeriga uzatiladi. Flot menejeri ushbu ma'lumotlardan texnik xizmatni rejalashtirish va resurslarni taqsimlash bo'yicha asosli qarorlar qabul qilish uchun foydalanadi.

Texnik xizmatni rejalashtirish: Amaliy tushunchalarga asoslanib, flot menejeri texnik xizmat tadbirlarini rejalashtiradi. Bashoratli texnik xizmat faqat zarur bo'lganda texnik xizmatni belgilash imkonini beradi, belgilangan vaqtlarga qaramay, ya'ni juda erta yoki kech bo'lishi mumkin bo'lgan holatlarni oldini oladi.

Feedback sikli: Tizimda texnik xizmat natijalari tizimga qayta kiritiladigan feedback sikli mavjud. Ushbu uzluksiz feedback ML modellari takomillashtirilishiga va kelajakdagi prognozlarning aniqligi oshishiga yordam beradi.

Samolyotlarga texnik xizmat: Reaktiv va proaktiv yondashuvlar

Samolyotlarga texnik xizmat strategiyalari asosan ikki asosiy turga bo'linadi: reaktiv va proaktiv. Har bir yondashuvning o'ziga xos xususiyatlari va operatsion samaradorlik hamda xavfsizlikka ta'siri mavjud.



2-rasm. Reaktiv texnik xizmat



Reaktiv texnik xizmat, shuningdek nosozlikka asoslangan texnik xizmat deb ham ataladi, qismlarni faqat ular ishlamay qolgandan keyin ta'mirlash yoki almashtirishni o'z ichiga oladi. Ushbu yondashuv "kechikib harakat qilish" deb ta'riflanishi mumkin, chunki muammo sodir bo'lishini kutib, keyin choralar ko'riladi. Bu turdagi texnik xizmat kutilmagan to'xtashlarga, favqulodda ta'mirlash xarajatlarining oshishiga va potensial xavfsizlik xatarlariga olib kelishi mumkin.

Kechikib amalga oshiriladi: Texnik xizmat faqat nosozlik yuzaga kelgandan keyin bajarilgani sababli, xarajatlari ko'proq bo'lishi va xavfsizlik xatarlarining oshishi kuzatiladi.

Proaktiv texnik xizmat

Proaktiv texnik xizmat muammolar yuzaga kelishidan oldin ularni oldini olishga qaratilgan. U ikki kichik turga bo'linadi: oldini oluvchi (preventive) va bashoratli (predictive) texnik xizmat.

Oldini oluvchi texnik xizmat: Oldini oluvchi texnik xizmat komponentlarning yoshi yoki ishlatilishiga asoslangan muntazam tekshiruvlar va almashtirishlarni o'z ichiga oladi. Ba'zan bu yondashuv "erta" texnik xizmatga olib kelishi mumkin, ya'ni qismlar hali eskirmagan bo'lsa ham almashtiriladi, natijada keraksiz xarajatlari yuzaga keladi.

Yoshga asoslangan: Komponentlar ularning haqiqiy holatidan qat'i nazar, belgilangan intervallar bilan almashtiriladi yoki xizmat ko'rsatiladi. Bu jadval oldingi ma'lumotlar va ishlab chiqaruvchi tavsiyalariga asoslanadi.

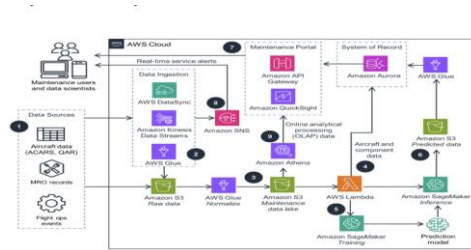
Erta: Qismlarni haqiqiy holatiga qarab emas, balki yoshi yoki ishlatilishiga qarab almashtirish ba'zan keraksiz qismlarni almashtirish va xarajatlarni oshirishga olib keladi.

Holatga asoslangan: Sensorlar va ma'lumotlarni tahlil qilish orqali komponentlarning haqiqiy holati kuzatiladi. Texnik xizmat faqat ma'lumotlar qismlarning foydali muddati tugash arafasida ekanligini ko'rsatganda amalga oshiriladi.

AWS AI xizmatlari yordamida samolyotlar uchun bashoratli texnik xizmat

Quyidagi rasm aviatsiya sohasida AWS AI (Amazon Web Services Artificial Intelligence) va ML xizmatlaridan foydalangan holda bashoratli texnik xizmatni amalga oshirishning keng qamrovli arxitekturasini ko'rsatadi. U samolyot sensorlari, texnik xizmat yozuvlari va parvoz operatsiyalari voqealari kabi turli manbalardan olingan ma'lumotlarning AWS vositalari orqali yig'ilishi, saqlanishi, qayta ishlanishi va tahlil qilinishini aks ettiradi. Tizim mumkin bo'lgan texnik xizmat ehtiyojlarini oldindan bashorat qilish va real vaqt rejimida ogohlantirishlar berish uchun mo'ljallangan, bu esa proaktiv choralarini qo'llash imkonini yaratadi.

Ushbu yechim Amazonning bulutga asoslangan xizmatlaridan, jumladan Amazon S3, SageMaker va QuickSight dan foydalangan holda markazlashtirilgan, kengaytiriladigan va samarali samolyot holatini va xavfsizligini saqlash yechimini yaratadi. Maqsad – kutilmagan to'xtashlarni kamaytirish, texnik xizmat jadvalini optimallashtirish va umumiy operatsion samaradorlikni oshirishdir.



3-rasm. Samolyotlarga texnik xizmat ko'rsatish uchun AWS asosida qurilgan bashoratli tahlil tizimi.

1. Diagrammadagi ko'rsatkich: Diagrammaning chap tomonida "1" bilan belgilangan bo'lim.

Tafsilotlar: Ushbu bo'lim samolyotlarga texnik xizmat tahlilida foydalaniladigan ma'lumotlarning kelib chiqishini ifodalaydi. U quyidagilarni o'z ichiga oladi: Samolyot ma'lumotlari (ACARS, QAR): Samolyotdagi tizimlar dvigatel ishlashi, parvoz sharoitlari va tizim holati kabi turli parametrlar bo'yicha ma'lumotlarni to'playdi. Ushbu ma'lumotlar samolyotning joriy holati va oldingi ishlashini tushunish uchun juda muhimdir. MRO yozuvlari: Ushbu yozuvlar samolyotga ko'rilgan barcha texnik xizmat choralari, jumladan ta'mirlash, almashtirish va tekshiruvlarni hujjatlashtiradi. Ular samolyotning holati va unga qilingan ishlar tarixini beradi. Parvoz operatsiyalari ma'lumotlari: Parvoz vaqtida yuzaga kelgan voqealardan olingan ma'lumotlar, masalan rejalashtirilgan yo'nalishdan chekinish yoki kutilmagan tizim ogohlantirishlari, texnik xizmat talab qiladigan yashirin muammolarni ko'rsatishi mumkin.

2. Ma'lumotlarni yig'ish (Data Ingestion). Diagrammadagi ko'rsatkich: "Data Ingestion" bo'limi, "2" bilan belgilangan.

Tafsilotlar: Bu bo'lim to'plangan ma'lumotlar AWS tizimiga kiritiladigan joydir: AWS DataSync: Tarixiy ma'lumotlarni on-premises saqlash joylaridan yoki boshqa tizimlardan AWS bulutiga uzatadi. Amazon Kinesis Data Streams: Samolyot va unga bog'liq tizimlardan real vaqt rejimida ma'lumotlarni qabul qiladi va oqim sifatida uzatadi, bu esa ularni darhol qayta ishlash va tahlil qilish imkonini beradi. AWS Glue: Ma'lumotlar kelishi bilan ularni tozalaydi va tartibga soladi, saqlashdan oldin ma'lumotlar sifatini va uyg'unligini ta'minlaydi. Xom va normallashtirilgan ma'lumotlarni saqlaydi.

3. Diagrammadagi ko'rsatkich: Ma'lumotlar saqlanadigan bo'lim, "Amazon S3 Raw data" va "AWS Glue Normalize" bilan, "3" belgisi ostida ko'rsatilgan.

Tafsilotlar: Amazon S3 (Xom ma'lumotlar): Ma'lumotlarni yig'ish bosqichidan olingan, qayta ishlanmagan xom ma'lumotlarni saqlaydi. Bu samolyot va boshqa manbalardan to'plangan barcha ma'lumotlarning asl shakli hisoblanadi. AWS Glue (Normallashtirish): Xom ma'lumotlarni normallashtiradi, ya'ni ma'lumotlarni bir xil va ishlatishga yaroqli shaklga keltiradi. Normallashtirilgan ma'lumotlar ham Amazon S3 da, "Maintenance data lake" nomli maxsus saqlash joyida keyingi tahlil uchun saqlanadi.

4. Hujjatlash tizimi (System of Record). Diagrammadagi ko'rsatkich: "System of Record" bo'limi, "Amazon Aurora" bilan belgilangan, "4" ko'rsatkich ostida.

Tafsilotlar: Amazon Aurora: Bu ma'lumotlar bazasi samolyot komponentlari va tizimlari haqidagi muhim strukturaviy ma'lumotlarni saqlaydi. U barcha tegishli ma'lumotlar uchun ishonchli manba hisoblanadi, jumladan

har bir qismning texnik xususiyatlari, texnik xizmat tarixi va umr ko'rish holati haqida batafsil ma'lumotlar.

5. Bashorat modellari tayyorlash (Training Prediction Models)

Diagrammadagi ko'rsatkich: "Amazon SageMaker Training" jarayoni, "5" belgisi ostida.

Tafsilotlar: Amazon SageMaker: Texnik xizmat qachon kerak bo'lishini bashorat qiluvchi ML modellarini ishlab chiqish va tayyorlash uchun ishlatiladi. Tayyorlash jarayoni "Maintenance data lake"da saqlangan tarixiy ma'lumotlardan foydalanadi va potensial nosozliklar yoki muammolarni ko'rsatadigan naqshlar va signalni aniqlashga yordam beradi.

6. Bashorat qilingan ma'lumotlarni hosil qilish (Generating Predicted Data)

Diagrammadagi ko'rsatkich: "Amazon S3 Predicted data" va "Amazon SageMaker Inference," "6" belgisi ostida.

Tafsilotlar: Tayyorlash jarayonidan so'ng, modellar kelajakdagi texnik xizmat ehtiyojlarini bashorat qilishi mumkin. Ushbu bashoratlar, masalan, komponentlarning kutilayotgan nosozliklari yoki kerakli texnik xizmat choralarni, Amazon S3da "predicted data" sifatida saqlanadi. Bu ma'lumot texnik xizmat jamoalariga proaktiv texnik xizmat tadbirlarini rejalashtirish va ustuvorlik berishda yordam beradi.

7. Texnik xizmat portal (Maintenance Portal)

Diagrammadagi ko'rsatkich: "Maintenance Portal" bo'limi, "Amazon API Gateway" va "Amazon QuickSight" bilan, "7" belgisi ostida.

Tafsilotlar: Amazon API Gateway: Ma'lumotlar va funksiyalarni API orqali xavfsiz tarzda olish imkonini beradi. Bu texnik xizmat portali kabi turli ilovalarga ma'lumotlar va modellarga ulanib ishlash imkonini yaratadi. Amazon QuickSight: Vizual tahlil imkoniyatlarini taqdim etadi, texnik xizmat jamoalariga boshqaruv panellari va hisobotlarni ko'rish imkonini beradi. U ma'lumotlarni vizual tarzda taqdim qilib, bashorat modellari va tarixiy ma'lumotlardan tendensiyalar, muammolar va tushunchalarni aniqlashni osonlashtiradi.

8. Real vaqt rejimidagi xizmat ogohlantirishlari (Real-Time Service Alerts)

Diagrammadagi ko'rsatkich: "Amazon SNS" qutisi, "8" belgisi ostida.

Tafsilotlar: Amazon SNS (Simple Notification Service): Bashorat modellari potensial muammolarni aniqlaganda yoki ma'lum shartlar bajarilganda, SNS real vaqt rejimida ogohlantirishlar yuboradi. Ushbu ogohlantirishlar texnik xizmat xodimlari va boshqa manfaatdor tomonlarga darhol yetkaziladi, bu esa muammolar jiddiylasmasdan oldin o'z vaqtida aralashish va texnik xizmat tadbirlarini amalga oshirish imkonini beradi.

9. Onlayn tahliliy ishlov berish (Online Analytical Processing – OLAP)

Diagrammadagi ko'rsatkich: "Amazon Athena" bo'limi, "9" belgisi ostida.

Tafsilotlar: Amazon Athena: Ushbu xizmat saqlangan ma'lumotlarni SQL so'rovlaridan foydalangan holda chuqur tahlil qilish imkonini beradi. Bu, masalan, Amazon S3 da saqlangan ma'lumotlar ustida murakkab so'rovlar bajarish, tendensiyalarni tahlil qilish, asosiy sabablarni aniqlash yoki ma'lumotlar asosida texnik xizmat jadvalini optimallashtirish imkonini beradi.

Bashoratli texnik xizmatni joriy etish uchun aviakompaniyalar quyidagi qadamlarni bajarishlari kerak:

Ilg'or sensorlarni o'rnatish: Samolyotlarni turli parametrlarni kuzatadigan va real vaqt rejimida ma'lumot to'playdigan sensorlar bilan jihozlash.

Ma'lumot manbalarini integratsiya qilish: Sensorlar, texnik xizmat yozuvlari va operatsion ma'lumotlarni birlashtirib, samolyotning holati bo'yicha to'liq tasavvurga ega bo'lish.

Ma'lumot tahlilidan foydalanish: To'plangan ma'lumotlarni tahlil qilish va potensial nosozliklarni bashorat qilish uchun ilg'or ma'lumot tahlili va ML algoritmlaridan foydalanish.

Xodimlarni tayyorlash: Texnik xizmat jamoasi va boshqa tegishli xodimlarni yangi texnologiyalar va ma'lumot tushunchalarini samarali ishlatishga o'rgatish.

Qonuniy va tartibga muvofiqlikni ta'minlash: Bashoratli texnik xizmat texnologiyalarining qo'llanilishi aviatasiya qonunchiligi va standartlariga mos kelishini ta'minlash uchun tegishli aviatsiya idoralari bilan ishlash.

Bashoratli texnik xizmatning afzalliklari

Xarajatlarni tejash: Nosozlik yuzaga kelishidan oldin texnik xizmatni bajarish orqali aviakompaniyalar rejalashtirilgan to'xtash vaqtida xizmatni amalga oshirishi mumkin, bu esa favqulodda ta'mirlash xarajatlarini kamaytiradi va parvozlarini buzilishining oldini oladi.

Xavfsizlikni oshirish: Tizimlarni real vaqt rejimida kuzatish muammolarni erta aniqlashga yordam beradi, bu samolyotning umumiy xavfsizligini oshiradi.

Operatsion samaradorlik: Bashoratli texnik xizmat texnik xizmat tadbirlarini samarali rejalashtirishga yordam beradi, natijada samolyotlar ta'mir uchun yerga tushish o'miga ko'proq vaqt havoda bo'ladi.

Yoqilg'i sarfini kamaytirish: To'g'ri texnik xizmat ko'rsatilgan samolyotlar samaraliroq ishlaydi, bu esa yoqilg'i sarfini kamaytiradi va atrof-muhitga ta'sirini pasaytiradi.

Yo'lovchi tajribasini yaxshilash: Kutilmagan texnik nosozliklar tufayli kechikishlar va bekor qilinishlar kamroq bo'lishi, yo'lovchilarning umumiy tajribasini yaxshilaydi.

3. Xulosa

O'tkazilgan Bashoratli texnik xizmat aviakompaniyalar uchun xarajatlarni kamaytirish, xavfsizlikni oshirish va operatsion samaradorlikni yaxshilash bo'yicha muhim imkoniyatni taqdim etadi. Ushbu yechimlarni joriy etishda qiyinchiliklar mavjud bo'lsa-da, uning potensial foydalari investitsiya qilishga arziydi. Texnologiya rivojlanib borishi bilan bashoratli texnik xizmat zamonaviy aviatsiyaning ajralmas qismiga aylanib, aviakompaniyalarga ish faoliyatini silliq olib borish va yo'lovchilarga sifatli xizmat ko'rsatishda yordam beradi.

Ilg'or sensorlar, ma'lumot tahlili va ML texnologiyalarini integratsiya qilish orqali aviakompaniyalar reaktiv texnik xizmat strategiyasidan proaktiv strategiyaga o'tishi mumkin, bu esa ularning flotini doimo optimal holatda saqlashni ta'minlaydi. Ushbu yondashuv nafaqat xarajatlarni tejashga yordam beradi, balki xavfsiz va ishonchli havo sayohatini ta'minlashga ham hissa qo'shadi.



**Foydalangan adabiyotlar /
References**

[1] Asmae BENTALEB, Kaoutar TOUMLAL 'Predicting Aircraft Engine Failures using Artificial Intelligence' – 2024, Kenitra, Morocco.

[2] Bernat Garreta Pinol ~ Advisors: David Duran Perez 'Artificial Intelligence For Aircraft Predictive Maintenance' – 2022, Terrassa, Barcelona.

[3] International Air Transport Association. 'Generative AI and Aviation' – 2023.

[4] Mahsa Babaee, Jafar Gheidar-Kheljani 'Prediction of Failure Time and Remaining Useful Life in Aviation Systems: Predictors, models, and challenges' - 2022, Iran.

[5] Abdukayumov A., Maturazov I.S. Radioelektron uskunalarni diagnostika qilish tizimini takomillashtirish / AIP Conference Proceedings 2432, 030044. – 2022. (SCOPUS).

[6] Абдукаюмов А., Матуразов И.С. Havo kemalarini masofadan diagnostika qilish tizimini tadqiq qilish / Научный журнал транспортных средств и дорог. – Тошкент, 2022. – №3. – С. 139-145.

[7] Michael Doherty 'The Growing Demand for Predictive Maintenance' – 2020.
<https://www.aviationpros.com/tools-equipment/maintenance-it/article/21125371/the-growingdemand-for-predictive-maintenance>

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

Maturazov I.S. / I. Matuzarov Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti" dekani, (PhD),
E-mail: maturazov_i@tstu.uz
Tel.: +998712990357
<https://orcid.org/0009-0003-4781-1601>

Turdimurodov A.B. / A. Turdimurodov Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya injiniringi" kafedrası talabasi.
E-mail: sazamatturdimurodov6701206@gmail.com
Tel.: +998996701206
<https://orcid.org/0009-0003-6438-3960>

Otaboyev S.I. / S. Otaboev Toshkent davlat transport universiteti "Aviatsiya injiniringi" kafedrası talabasi.
E-mail: sardorbekotaboyev73@gmail.com
Tel.: +998 90 438 94 14
<https://orcid.org/0009-0008-7258-7361>



Problems of formation of basic professional competence among students of technical higher educational institutions

A.Kh. Kiyomov¹ ^a

¹Termez State Pedagogical Institute, Termez, Uzbekistan

Abstract: The article is currently devoted to the issue of existing problems in the preparation of future specialists in technical higher education institutions and their elimination. It describes the role, importance and content of professional competence in the preparation of future specialists in technical higher education institutions. At the same time, the main components that make up professional competence, their distinctive features are revealed.

Keywords: competence, professional competence, competence model, basic competencies, motivating competence, cognitive-creative competence

Texnika oliy o'quv yurtlari talabalarida tayanch kasbiy kompetentlikni shakllantirish muammolari

Kiyomov A.X.¹ ^a

¹Termiz davlat pedagogika instituti, Termiz, O'zbekistan

Annotatsiya: Maqola hozirgi kunda texnika oliy ta'lim muassasalarida bo'lajak mutaxassislarni tayyorlashda mavjud muammolar va ularni bartaraf etish masalalariga bag'ishlangan. Unda texnika oliy ta'lim muassasalarida bo'lajak mutaxassislarni tayyorlashda kasbiy kompetentlikning o'rni, ahamiyati va mazmuni haqida fikrlar bayon qilingan. Shu bilan birga kasbiy kompetentlikni tashkil etuvchi asosiy komponentlar, ularning o'ziga xos xususiyatlari ochib berilgan.

Kalit so'zlar: kompetentlik, kasbiy kompetentlik, kompetentlik modeli, tayanch kompetensiyalar, motivatsiyalovchi kompetentlik, kognitiv-ijodiy kompetentlik

1. Kirish

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 20-iyunda muhandislik sohaslarida kadrlar tayyorlash va oliy ta'lim muassasalari faoliyatini yanada takomillashtirish masalalariga bag'ishlangan videoselektor yig'ilishida mamlakatimizda kadrlar tayyorlash tizimi oldiga qator ustuvor vazifalar belgilab berildi, jumladan "to'liq dual ta'lim tizimiga o'tish, dekanatlarning talabalarga xizmat ko'rsatish funksiyalarini to'liq raqamlashtirish, "Registrator ofis" tizimiga o'tish hamda ta'lim muassasalarida ta'lim jarayonlarini dunyoning etakchi mamlakatlari hisoblangan Germaniyaning Drezden texnika va Yaponiyaning Sukuba universitetlari dasturlariga moslashtirish" vazifasi yuklatildi[1].

Bu esa o'z navbatida Respublikamizdagi muhandis mutaxassislarni tayyorlovchi oliy ta'lim muassasalari oldiga qator vazifalarni qo'yadi. Jumladan muhandislik sohasidagi oliy ta'lim muassasalari bitiruvchilarida kasbiy kompetentlikning shakllanganligi muhim ahamiyat kasb etadi. Jahonning rivojlangan mamlakatlarida muhandislik sohasidagi oliy ta'lim tizimini modernizatsiyalash jamiyat va mehnat bozoridagi dinamik o'zgarishlar sharoitida kechmoqda. Ta'lim maqsadi, mazmuni, qadriyatilari va yo'nalishidagi yangilanishlar muhandislar tayyorlashga zamonaviy yondashuvlarni joriy etishni talab etmoqda. Kadrlar tayyorlashda kompetentli yondashuv (competent

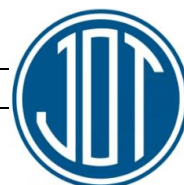
approach) hamda dual ta'lim tizimini joriy etish, ta'lim tizimi rivojlanishining global tendensiyasi (global trend) hisoblanadi. Rivojlangan mamlakatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, ta'limiy vazifalarni hal etishda bo'lajak muhandislarning aynan kasbiy kompetentligini shakllantirish va rivojlantirish muhim shartlaridan biri hisoblanadi. Muhandislarning kasbiy tayyorgarligi tizimini diversifikatsiyalash va modernizatsiyalash, zamon talablariga moslashtirish sharoitida texnologik va konseptual innovatsiyalar (texnologiyalar va bilimlar transferi)ni joriy etish zaruratga aylanmoqda.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ta'limning kompetentlikka-yo'naltirilgan yondashuv paradigmasiga o'tish, hozirgi kunda texnika oliy ta'lim muassasalari bitiruvchilariga qo'yiladigan talablar va bo'lajak muhandislarni tayyorlash ta'lim jarayonlari o'rtasidagi mavjud qarama-qarshiliklar aynan shu toifadagi oliy ta'lim muassasalari faoliyatini modernizatsiya qilish va ta'lim sifatini yangi bosqichga olib chiqishni taqozo etmoqda.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida muhandis kadrlarini tayyorlash jarayonini tahlil qilish natijalari shundan dalolat beradiki, bugungi bitiruvchilar mamlakatimizda kechayotgan tezkor rivojlanish va ish beruvchilarning bitiruvchilarga qo'yadigan zamonaviy talablariga javob bera olmaydi. Hozirda qo'llanilayotgan ta'lim texnologiyalari

^a <https://orcid.org/0009-0005-3373-702X>



texnika oliy ta'lim muassasalari bitiruvchilarida kasbiy kompetentlikni shakllantirishga, ulardagi ijodkorlik salohiyatini ochib berishga va talabalarda mustaqil ta'lim olish ko'nikmalarini hosil qilishga yetarlicha sharoit yaratolmayapti. Texnika oliy ta'lim muassasalaridagi ta'lim jarayonlari yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarni bartaraf etish olish imkoniyatlariga ega bo'lishi kerak.

Tadqiqotimizning maqsadi-texnika oliy o'quv yurtlari talabalarida tayanch kasbiy kompetentlikni shakllantirish yuzasidan o'rtirilgan tajribalar va mavjud takliflar bilan o'rtoqlashish.

Ta'limda kompetentli yondashuv nazariyasi, kompetentlik, kasbiy kompetensiya, pedagogik kompetentlik, texnologik kompetentlik, texnologik ta'lim masalalari Kiyomov A.X. [2],

Maxmudov M.X. [3] va boshqalarning ilmiy tadqiqotlarida aks etgan.

Mustaqil davlatlar hamdo'stligi olimlari Петрук В. А. [4], Петрук В. А. [5], Петрук В. А. [6], Платонов К.К. [7], Штейнберг В.Э. [8] va boshqalar bo'lajak mutaxassislarining texnologik kompetentligi mohiyati va komponentlarini o'rganishgan.

Kompetentlikka yo'naltirilgan ta'lim pedagogik loyihalash tamoyillari asosida loyihalangan va ta'lim jarayonlariga joriy etilgan muhandislar tayyorlashga mo'ljallangan kompetentlik modelini namoyon etadi, ta'limning bunday tizimida asosiy natija bitiruvchida kasbiy va tayanch kompetensiyalarning shakllanganligi hisoblanadi.

Kasbiy kompetensiyalar deganda standart va no standart vaziyatlarda o'z kasbiy vazifalarini samarali hal qila olishga qaratilgan-shaxsning o'z imkoniyatlarini (egallangan bilim, ko'nikma, malakalar, mavjud qobiliyatlar va shaxsiy fazilatlar tizimi) yuzaga chiqara olishga tayyorligini tushunish mumkin.

Tayanch kompetensiyalar deganda-kasbi va mutaxassisligidan qat'iy nazar zamonaviy mutaxassisning faoliyatida uchraydigan ma'lum bir toifadagi muammolarni hal qilishga qaratilgan shaxsning tayyorligini tushunish mumkin. Bo'lajak muhandislarining kasbiy kompetensiyalarini ularning umumiy kompetensiyalarining ajralmas tarkibiy qismi (belgilangan darajadagi vazifalarni bajara olishni ta'minlovchi, shaxsning muhim kasbiy fazilatlarida bilim, ko'nikma va malakalar tizimi) deb hisoblash mumkin.

Kasbiy kompetensiyalarga berilgan turli ta'riflarni tahlil qilgan holda, bo'lajak muhandislar tayanch kompetensiyalarining quyidagi tizimini tavsiya etish mumkin: motivatsiyalovchi, ijtimoiy, uslubiy, tabiiy-ilmiy, gumanitar, umumtexnikaviy va maxsus.

Shuni ham ta'kidlash joizki, barcha yo'nalishlardagi texnika oliy ta'lim muassasalarining birinchi kurslari talabalariga ta'lim beruvchi pedagoglar, talabalarda (maktab bitiruvchilarida) shakllangan kompetensiyalarning darajasiga alohida e'tibor qaratishlari lozim. Aksariyat hollarda birinchi kurs talabalarining motivatsiyalari, ularning ta'lim faoliyatini to'g'ri tashkil etish, erishgan yutuqlarini munosib baholash va kreativ imkoniyatlari e'tibordan chetda qolib ketadi.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida bo'lajak muhandislarga ta'lim berish va ilmiy-pedagogik faoliyat yuritish jarayonlarida o'rtirilgan tajribalar, kuzatishlardan kelib chiqib, shunday xulosa qilish mumkinki, bunday ta'lim muassasalarida fundamental va aniq fanlarni chuqur o'qitishga alohida e'tibor qaratish kerak, chunki fundamental

fanlarni chuqur o'qitmaslik bo'lajak muhandislarda kasbiy kompetensiyalarni yuqori darajada shakllanmasligiga olib keladi.

Birinchi kurs talabalarida shakllangan kompetensiyalarni inobatga olgan holda, fundamental fanlarni o'qituvchi pedagoglar tomonidan shakllantirilishi lozim bo'lgan tayanch kasbiy kompetensiyalarning quyidagi turlarini (motivatsiyalovchi, kognitiv-ijodiy, kommunikativ) ajratib ko'rsatish mumkin.

Texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarining motivatsiyalovchi kompetensiyalarini o'zining kasbiy faoliyatini samarali amalga oshirish uchun motivatsiyalar sifatida anglab etish, ya'ni belgilangan darajada o'z kasbiy vazifalarini bajarishga zamin yaratishda zarur bo'ladigan bilimlar, ko'nikmalar, malakalar va shaxsiy fazilatlarini o'zlashtirish sifatida talqin qilinadi.

3. Natija va muhokamalar

Texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarining kognitiv-ijodiy kompetensiyalarini bo'lajak muhandisning ijodkorligi va samarali ijodiy faoliyat yuritishini belgilab beruvchi bilimlar, ko'nikmalar, malakalar, mustaqil ta'lim olish va o'z-o'zini rivojlantirishga ijodiy yondashib ularni o'zlashtirish qobiliyati sifatida talqin qilinadi.

Texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarining tayanch kasbiy kompetensiyaning komponenti sifatida, faqatgina o'z mutaxassisligi bo'yicha faoliyat ko'rsatish jarayonlarida emas, balki pedagogik va ilmiy-tadqiqot faoliyatida ham muloqot qilish, o'zaro hamkorlikda ishlash usullarini bilish hamda bu qobiliyatlaridan samarali foydalana olish ko'rsatkichi sifatida kognitiv kompetensiyalar talqin qilinadi.

Texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarining ijtimoiy motivatsiyasiga kuchli ta'sir ko'rsatish biroz mushkul, sababi bu muhandis mutaxassislarga jamiyatning ehtiyoji va muhandislarining jamiyatdagi nufuziga bog'liq bo'ladi. Mamlakatimizda esa muhandis mutaxassislarga bo'lgan ehtiyoj va muhandislarining nufuzi hozirgi kunda kechayotgan islohotlar asosida ortib bormoqda.

Texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarining o'z mutaxassisligi bo'yicha kasbiy shakllanish darajasini qisman ta'minlovchi motivatsion kompetensiyani shakllantirish masalasiga kelsak, kognitiv, ijodiy va kommunikativ kompetensiyalarni shakllantirish orqali imkoniyatlar ancha kengayadi.

Texnika oliy ta'lim muassasalari bo'lajak bitiruvchilari kasbiy kompetensiyalarini shakllantirishning metodologik tamoyillari muammolarini tadqiq qilish shuni ko'rsatadiki, aksariyat mamlakatlarda talabalarda fundamental fanlarni o'qitish jarayonlarida kamchiliklar mavjudligi ko'zga tashlanadi.

Ko'p yillik kuzatishlar va olib borilgan ilmiy-tadqiqotlar asosida bo'lajak muhandislarda tayanch kasbiy kompetensiyalar shakllanish jarayonining quyidagi konseptual tamoyillari aniqlangan va asoslangan.

Birinchi konseptual tamoyil sifatida fundamental fanlarni o'qitishni mutaxassislikka yo'naltirilganligini keltirish mumkin:

-ta'lim standartlari va malaka talabalaridan kelib chiqib, mutaxassislikka oid fundamental fanlar bloki bo'yicha talabalarda bilim, ko'nikma va malakalarni shakllantirish;



-o'z sohasini puxta egallashga zamin yaratuvchi nazariy bilim va ko'nikmalarning quyi tizimini shakllantirish, ixtisoslashgan fanlarni chuqur o'rganish va bu bilimlardan ilmiy-texnik jarayonlarda kechadigan o'zgarishlarga mos holda o'zining kelgusidagi faoliyatida oqilona qo'llay olish;

-o'z tanlagan sohasiga hurmat bilan munosabatda bo'lish, mutaxassisligi bo'yicha faoliyat yuritishga bo'lgan qiziqishlarini oshirish, intellektual qobiliyatlarini rivojlantirish va axloqiy fazilatlarini rivojlantirish.

Ikkinchi kontseptual tamoyil-bu texnika oliy ta'lim muassasalari birinchi kurs talabalarida ta'lim muassasasida tahsil olishni boshlanishidan oliy ta'lim muhitida aqliy faoliyatning natijador usullarini egallashni rivojlantirish. Bu ko'nikmalarni shakllantirish talabalarning mustaqil ta'lim olish va aqliy faoliyati imkoniyatlarini kengaytirishda muhim o'rin tutadi.

Uchinchi kontseptual tamoyil-bu texnika oliy ta'lim muassasalarida ta'lim jarayonlarini tashkil etishda kredit-modul tizimidan samarali foydalanish, buning natijasida talaba oliy ta'lim tizimiga tezroq moslashadi. Modulli reyting tizimi bo'yicha ta'lim jarayonlari tashkil etilganda talabaning har bir modul bo'yicha o'zlashtirish natijalarini kuzatib borish ta'minlanadi, ta'lim jarayoni to'liq nazorat ostida bo'ladi, bu esa talabani semestr davomida o'z ustida tizimli ishlashga yo'naltiradi, talabaning auditoriya mashg'ulotlarida faol ishlashga qiziqishini kuchaytiradi, eng muhimi unda darsdan tashqari vaqtda mustaqil ishlash ko'nikmalarini rivojlantiradi.

4. Xulosa

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, taklif etilgan konseptual tamoyillar asosida texnika oliy ta'lim muassasasida tahsil olayotgan bo'lajak muhandislarda kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish uchun, texnika oliy ta'lim muassasalarida fundamental fanlarni o'qitish texnologiyalarida tub burilish yasash kerak, chunki bu talabalar uchun keng qamrovli nazariy asos, muhandislik masalalarini echishda qo'llanma bo'ladi, shu bilan birga kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish uchun qulay sharoit yaratiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 20-iyundagi "Muhandislik sohaslarida kadrlar tayyorlash va oliy ta'lim muassasalari faoliyatini yanada takomillashtirish masalalariga bag'ishlangan videoselektor yig'ilishida so'zlagan nutqi". <https://president.uz/oz/lists/view/7333>.

[2] Kiyomov A.X. Bo'lajak pedagoglarda texnologik kompetentlikni rivojlantirishning nazariy-pedagogik asoslari. Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati.-Nukus.: 2025.

[3] Махмудов М.Х. Таълими дидактик лойихалашнинг назарий асослари: Пед. фан. ном. дисс. – Тошкент, 2004. – 269 б.

[4] Петрук В. А., Хомяк И. В. Формирование умений самостоятельной работы у будущих инженеров средствами игровых форм (монография). - Винница: "Универсум-Винница", 2004. - 185 С.

[5] А Петрук. В. А. Опыт создания и внедрения игровых форм обучения в ВТНЗ // проблемы образования: сб. науч. пр. -К.: Наук. - метод. центр высшего образования, 2006. - № 44. - С. 88-92..

[6] К Петрук В. А. Формирование базового уровня профессиональной компетентности у будущих специалистов технических специальностей средствами интерактивных технологий: монография / В. А. Петрук. - Винница: ВНТУ, 2011. – 306 с.

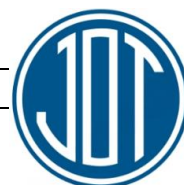
[7] Платонов К.К. Структура и развитие личности. / Отв. ред. Глотовкин А.Д. – М.: Наука, 1986. – 269с.

[8] Штейнберг В.Э. Этнокультурные основы моделирования совершенных дидактических инструментов // Сибирский педагогический журнал. – 2004.№1. – С. 210 – 213.

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

Kiyomov Abdulla
Haytaliyevich

Termiz davlat pedagogika instituti,
Texnologiya va geografiya
kafedrası katta o'qituvchisi,
Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa
doktori, (PhD).
E-mail: abdullok1968@gmail.com
Tel.: +99894-462-37-15
<https://orcid.org/0009-0005-3373-702X>



Numerical calculation of the bending of an elastic beam using the finite difference method

M.M. Rasulmuhamedov¹^a, Z.M. Mirzaeva¹^b, A.Kh. Matkarimov¹^c,
M.Kh. Mehmonov¹^d

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The problem of solving plane bending issues by the finite difference method was examined. The values of the bending function at the beam's node points were studied using a system of linear algebraic equations. The deflection and bending moment of the beam were determined. The bending moment depends on the stiffness of the beam, its width, and the properties of the support. The article examines two loading cases (combined loading and edge loading), as well as two types of support conditions (cantilever supports at the edges and hinged supports).

Keywords: flexible beam, bending, flexible foundation, finite difference method, mesh method

Elastik to'sinni egilishga chekli ayirmalar usuli bilan sonli hisoblash

Rasulmuhamedov M.M.¹^a, Mirzayeva Z.M.¹^b, Matkarimov A.X.¹^c,
Mehmonov M.X.¹^d

¹Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Tekis egilish masalalarini chekli ayirmalar usuli bilan yechish masalasi ko'rildi. To'sin tugun nuqtalaridagi egilish funksiyasi qiymatlari chiziqli algebraik tenglamalar tizimi yordamida o'rganildi. To'sinning salqiligi va eguvchi momenti aniqlandi. Eguvchi moment to'sinning egilishdagi bikrligi, uning (eni) kengligi va asosning xususiyatiga bog'liq. Maqolada yuklanishning ikki holati (umumiy yuklanish va chetlardan yuklanish), shuningdek, ikki xil mahkamlanish holati (chekkalarda biki tayanchlar va sharnirli tayanchlar) ko'rib chiqildi.

Kalit so'zlar: egiluvchan to'sin, egilish, egiluvchan asos, chekli ayirma usuli, to'rlar usuli.

1. Kirish

Egiluvchan asosda yotgan konstruksiyalarni hisoblashga bag'ishlangan ko'plab ilmiy ishlar mavjud [1–4]. Zamonaviy tadqiqot usullari fundament plitalari va yo'l qoplamalarini loyihalashda ham sonli, ham analitik hisoblash usullariga asoslangan. Chekli ayirmalar usulini balkalar, plastinalar va qobiqlarni hisoblashga qo'llash masalalariga A. V. Aleksandrov, N. P. Abrovskiy, M. A. Koltunov, S. P. Timoshenko, P. M. Varvak kabi ko'plab olimlar o'z ishlarini

bag'ishlaganlar [1–8]. Chekli ayirmalar usulining katta afzalligi shundaki, u chegaraviy shartlarga va boshlang'ich kuchlanish holatiga kam bog'liq bo'ladi. Kamchiliklaridan biri – algebraik tenglamalar tizimining yuqori tartibda bo'lishi, lekin zamonaviy dasturiy komplekslar bu muammoni bartaraf etadi. Bunday masalalar plitali fundamentlar, inshoot pollari, aerodrom va yo'l qoplamalarini loyihalashda uchraydi. Egiluvchan asosda yotgan to'sin-tasma, balka egilishi masalalari inshootlar konstruksiyasini loyihalashda katta amaliy ahamiyatga ega.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tekis egilishga uchragan, chekkalari biki yoki sharnirli maxkamlangan, butun eni bo'ylab elastik asosga tayangan tekis yuklangan to'sin-tasmaning holatini ko'rib chiqamiz. Plastinadan to'sin-tasmani kesib olib, uni elastik asosdagi balka sifatida qaraymiz. Bunda to'sin-tasma elastik muhitli "to'shak" ustiga yotqizilgan, muhit pastga hamda yuqoriga qarab ta'sir etuvchi kuchlarga qarshilik ko'rsata oladi deb hisoblanadi. Ushbu holatda, tekis yuklangan, butun eni bo'ylab elastik asosga tayangan va chetlari biki yoki sharnirli maxkamlangan uzun to'g'ri to'rtburchak plastinaning egilishini tahlil qilamiz (rasm 1).

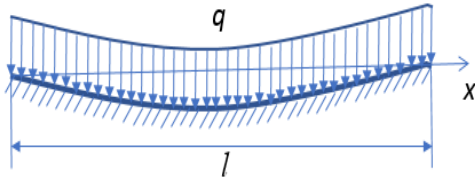
^a <https://orcid.org/0000-0001-8404-3013>

^b <https://orcid.org/0000-0002-1333-7361>

^c <https://orcid.org/0000-0002-2570-5395>

^d <https://orcid.org/0000-0002-1230-5552>





1-rasm. Elastik asosdagi, butun uzunligi bo'ylab teng yuklangan va chetlari bikr yoki sharnirli maxkamlangan to'g'ri to'rtburchak to'sin-tasma

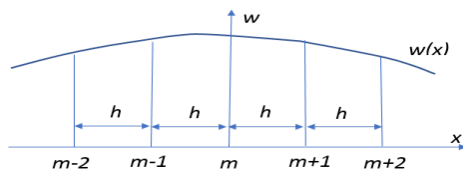
Differensial tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi [1,2]:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} = q - kw. \quad (1)$$

Bu yerda

D — to'sin-tasmaning silindrik bikrligi, k — elastik asos koeffitsiyenti, q — tekis tarqalgan yukning intensivligi.

Avvalo funksiyaning hosilasini chekli miqdorlar nisbati orqali ifodalash imkonini beruvchi formulalarni olamiz. Bunda Teylor formulasidan foydalanib, to'sin-tasmaning ixtiyoriy m nuqtasida funksiyaning hosilalarini taxminan hisoblaymiz (rasm 2).



2-rasm. To'sin-tasmaning egilish funksiyasini bo'lish sxemasi

Bunda m nuqtani markaziy nuqta deb ataymiz, unga yaqin nuqtalar esa teng masofada joylashgan deb hisoblanadi. Teylor formulasidan foydalanib, birinchi uch hadni olamiz:

$$\begin{cases} w_{i+1} \approx w_i + h * w'_i + \frac{h^2}{2} * w''_i; \\ w_{i-1} \approx w_i - h * w'_i + \frac{h^2}{2} * w''_i; \end{cases} \quad (2)$$

Ayirish va qo'shish orqali quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} w_{i+1} - w_{i-1} = 2h * w'_i; \\ w_{i+1} + w_{i-1} = 2w_i + h^2 * w''_i; \end{cases} \quad (3)$$

Bundan:

$$w'_i = \frac{w_{i+1} - w_{i-1}}{2h} \quad (4)$$

$$w''_i = \frac{w_{i+1} - 2w_i + w_{i-1}}{h^2} \quad (5)$$

Ikkinchi hosilaning (5) ifodasidan birinchi hosilaning (4) formulasi bo'yicha hosila olamiz:

$$w'''_i = \frac{w_{i+2} - 2w_{i+1} + 2w_{i-1} - w_{i-2}}{2h^3} \quad (6)$$

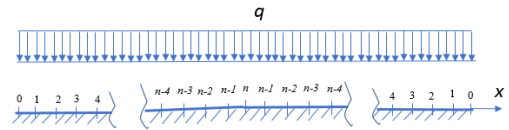
Xuddi shunday to'rtinchi tartibli hosilani olamiz:

$$w^{iv}_i = \frac{w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2}}{h^4} \quad (7)$$

To'sin-tasmaning elementar qismini ajratib, uni teng uzunlikdagi chekli bo'laklarga bo'lamiz:

$$h = \Delta x = \frac{L}{2} * \frac{1}{n} = \frac{L}{2n} \quad (8)$$

Bu yerda L — to'sin-tasmaning uzunligi; n — yarim uzunlik bo'yicha bo'lishlar soni. Bo'laklarning raqamlanishi simmetriyani hisobga olgan holda 3-rasmga ko'rsatilgan.



3-rasm. Elastik asosdagi, tekis yuklangan va chetlari bikr yoki sharnirli maxkamlangan to'sin-tasmaning bo'laklarini simmetriyali raqamlash

To'rtinchi hosilaning chekli ayirmalar usuli orqali i nuqtadagi ko'rinishi:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \frac{w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2}}{\Delta x^4} \quad (9)$$

Buni (1) tenglamaga qo'ysak, m nuqta uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2}}{\Delta x^4} + \frac{k}{D} w_i = \frac{q_i}{D} \quad (10)$$

Yoki:

$$w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2} + \frac{k\Delta x^4}{D} w_i = \frac{q_i \Delta x^4}{D}. \quad (11)$$

bu yerda $i=1,2,\dots,n$.

Belgilashlar kiritamiz:

$$\alpha = \frac{k\Delta x^4}{D}, \quad \delta_i = \frac{q_i \Delta x^4}{D} \quad (12)$$

U holda (11) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2} + \alpha w_i = \delta_i \quad (13)$$

To'sin-tasmaning ikki chekkasi sharnir bilan biiktirilgan bo'lsa, chegara shartlari:

$$x = \pm \frac{a}{2}; \quad w=0; \quad M_x=0.$$

Bu $M_x=0$ shartdan, $\frac{d^2 w}{dx^2} = 0$ kelib chiqadi.

Chekli ayirmalar usulida bu shart $w_{-1} = w_1$ quyidagicha ifodalanadi. (13) tenglamalarni ichki nuqtalar uchun va chegara shartlarini hisobga olgan holda tuzsak, w_i salqiliklarni aniqlash uchun $n \times n$ tartibli algebratik tenglamalar tizimi koeffitsiyentlari dasturda quyidagi ko'rinishni hosil qiladi:

$$\begin{aligned} A_i &= (i == 0 || i == 1 || i == n) ? 0 : 1; \\ B_i &= (i == 0 || i == n) ? 0 : 4; \\ C_i &= (i == 0 || i == 1 || i == n) ? 1 : - \\ (i == 1 || i == n - 1) ? 7.0 + K : 6.0 + K; \\ D_i &= (i == 0 || i == n) ? 0 : 4; \\ E_i &= (i == 0 || i == n - 1 || i == n) ? 0 : 1 \\ f_i &= (i == 1 || i == n) ? 0 : q_x * \left(\frac{Lx}{n}\right)^4 - \\ &\quad (b * h_b * h_b * h_b / 12 * E); \end{aligned} \quad (14)$$

Yuqoridagi (14) tenglama matritsalar ko'rinishida quyidagicha yoziladi:

$\mathbf{A} \mathbf{W} = \mathbf{B}$,

bunda $\mathbf{A}$ — koeffitsiyentlar matritsasi; $\mathbf{W}$ — salqiliklar ustun- vektori; $\mathbf{B}$ — erkin hadlar ustuni.

Matritsa $\mathbf{A}$ quyidagi ko'rinishni oladi:



$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

W va **B** ustun-vektorlari:

$$\begin{aligned} w^T &= [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_{n-1} \ w_n] \\ B^T &= \frac{1}{D} [\delta_1 \ \delta_2 \ \dots \ \delta_{n-1} \ \delta_n] \end{aligned} \quad (16)$$

Ushbu tenglamalar tizimini yechish orqali to'sin-tasmaning belgilangan nuqtalaridagi salqil qiyamatlarini $w = \frac{1}{D} A^{-1} B$ aniqlaymiz.

Silindrik egilish uchun eguvchi moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2}.$$

Ikkinchi hosilaning chekli ayirmalar ko'rinishida yozamiz:

$$\left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)_m = \frac{w_{m+1} - 2w_m + w_{m-1}}{\Delta^2}. \quad (17)$$

m nuqta uchun eguvchi momentning aniqlanishi:

$$M_{x(m)} = -D \cdot \frac{w_{m+1} - 2w_m + w_{m-1}}{\Delta^2}. \quad (18)$$

To'sin-tasma salqilagini quyidagi son qiymatlarda hisoblaymiz:

$E=2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0,3$, $k_r=3,75 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^3$, $l=10 \text{ m}$, $h_b=0,3 \text{ m}$, $q=1 \text{ kN/m}$.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad J = \frac{h^3}{12}.$$

n	W(0.5L)
20	-0,000028574434
40	-0,000028625753
80	-0,000028638811
160	-0,000028642090
320	-0,000028642911

1-jadvalda chekli ayirma usulining oraliqda tugun nuqtalar soni $n=20, 40, 80, 160, 320$ bo'lganda 2 ustunda sonli usulning natijasida hosil bo'lgan ko'chishning $x=0.5L$ da $W(0.5L)$ qiymati va 3 ustunda ko'chishning analitik yechimi keltirilgan. Ularni solishtirganda tugun nuqtalar soni n ortishi bilan analitik yechim bilan sonli usul yechimining ishonchli qiymatlar soni to'rtga teng bo'lishi ko'rsatilgan.

1-jadval

Chekli ayirma usuli bo'yicha n ortishi bilan $x=0.5L$ dagi sonli va analitik ko'chish qiymatlari taqqoslangan va moslik yaxshilangani ko'rsatilgan

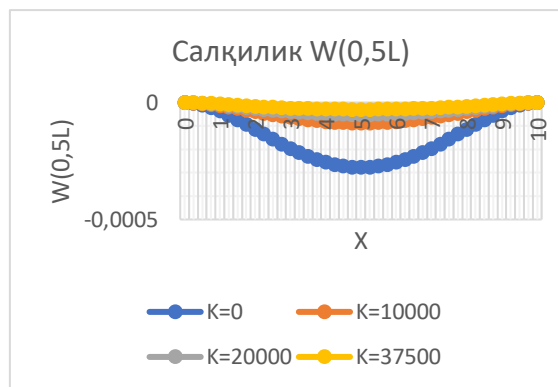
Tugun nuqtalar soni n	Sonli usul yechimi- $W(0.5L)$	Analitik yechim- $W(0.5L)$
20	-0,000281085	-0,0002756
40	-0,000276951	-0,0002756
80	-0,000275918	-0,0002756
160	-0,000275659	-0,0002756
320	-0,000275595	-0,0002756

2-jadvalda chekli ayirma usulining oraliqda tugun nuqtalar soni $n=20, 40, 80, 160, 320$ bo'lganda, hamda to'sin-tasmaning elastik asos koeffitsiyenti $k_r=3,75 \cdot 10^4$ qiymatni olganda, 2 ustunda sonli usulning natijasida hosil bo'lgan $W(0.5L)$ qiymatini yaqinlashishi ko'rsatilgan. Ularni solishtirganda tugun nuqtalar soni n ortishi ishonchli qiymatlar soni to'rtga teng bo'lishi ko'rinib turibdi.

2-jadval

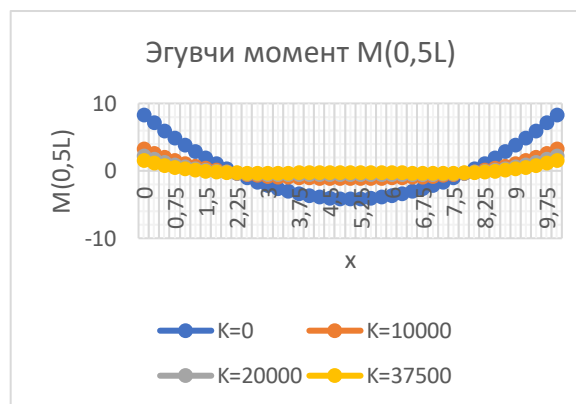
$k_r=3,75 \cdot 10^4$ uchun n ortishi bilan $W(0.5L)$ qiymatining yaqinlashuvi va aniqligi oshishi

Tugun nuqtalar soni n	Sonli usul yechimi- $W(0.5L)$
20	-0,000028574434
40	-0,000028625753
80	-0,000028638811
160	-0,000028642090
320	-0,000028642911



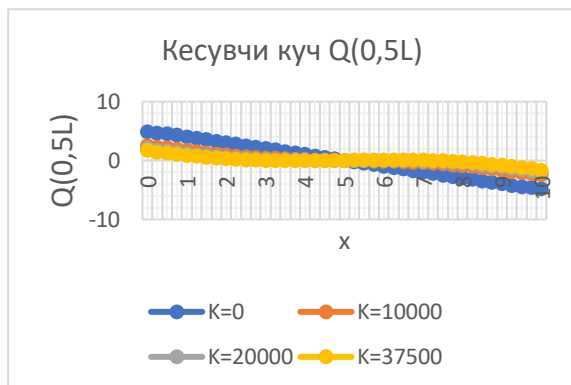
4-rasm. Tasmaning to'shak ta'siri va ta'sirisiz holda ko'chishning grafigi

4- rasmida $x=0, 0,25\text{m}; 0,5\text{m}; \dots 9,25\text{m}; 9,5\text{m}; 9,75\text{m}; 10,0\text{m}$ dagi qiymatlarda $W(x)$ ko'chishning qiymatlari grafigi keltirilgan. Ko'rsatilgan chizmadan $W(x)$ markazda ya'ni $x=0.5L$ da maksimal qiymatga erishadi, hamda yechimning grafigi parabolik ko'rinishi oladi va $x=0$ va $x=L$ tugun nuqtalarda $W(x)$ nol qiymatga teng bo'ladi. Tasma to'shagi ta'siri K ning qiymati kattalashgan sari $W(x)$ ning maksimal qiymati kamayib boradi.



5-rasm. Tasmaning to'shak ta'siri va ta'sirisiz holda eguvchi momentning grafigi

5- rasmda $x=0; 0,25m; 0,5m; \dots 9,25m; 9,5m; 9,75m;$ 10,0m dagi qiymatlarda $M(x)$ momentning qiymatlari grafigi keltirilgan. Ko'rsatilgan chizmadan $M(x)$ markazda ya'ni $x=0,5L$ da ekstremal qiymatga erishadi, hamda yechimning grafigi parabolik ko'rinishi oladi va $x=0$ va $x=L$ tugun nuqtalarda $M(x)$ eng katta qiymatga teng bo'ladi. Tasma to'shagi ta'sirining qiymati kattalashgan sari $M(x)$ ning maksimal qiymati kamayib boradi.



6-rasm. Tasmaning to'shak ta'siri va ta'sirisiz holda kesuvchi kuchning grafigi

6- rasmda $x=0; 0,25m; 0,5m; \dots 9,25m; 9,5m; 9,75m;$ 10,0m dagi qiymatlarda $Q(x)$ kesuvchi kuchning qiymatlari grafigi keltirilgan. Ko'rsatilgan chizmadan $Q(x)$ markazda ya'ni $x=0,5L$ da nol qiymatga erishadi, hamda yechimning to'g'ri chiziqli ko'rinishi oladi va $x=0$ da $Q(x)$ musbat maksimal qiymatga, hamda $x=L$ tugun nuqtalarda $Q(x)$ manfiy maksimal qiymatga teng bo'ladi. Tasma to'shagi ta'sirining qiymati kattalashgan sari $Q(x)$ ning maksimal qiymati kamayib boradi.

3. Xulosa

Elastik to'sinni egilishini chekli ayirmalar usuli orqali sonli hisoblash masalasi tahlil qilinib, ushbu yondashuvning samaradorligi va qo'llash imkoniyatlari ko'rsatib berildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, chekli ayirmalar usuli differensial tenglamalarni yaqinlashtirib yechishda qulay va aniq usullardan biri hisoblanadi. U orqali to'sinning turli yuklanish holatlaridagi egilishini aniqlash, chegaraviy shartlarni hisobga olgan holda ishonchli natijalar olish mumkin.

Shuningdek, sonli usullar an'anaviy analitik yechimlar qiyin yoki mumkin bo'lmagan hollarda muhim ahamiyat kasb etishi ta'kidlandi. Chekli ayirmalar usulining oddiy algoritimga egaligi va kompyuterda oson amalga oshirilishi uni muhandislik masalalarida keng qo'llash imkonini beradi. Olingan natijalar ushbu usulning aniqligi yetarli darajada yuqori ekanligini va amaliyotda samarali qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatdi.

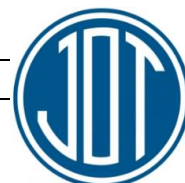
Xulosa qilib aytganda, chekli ayirmalar usuli elastik to'sinlarning egilishini tahlil qilishda ishonchli, samarali va amaliy jihatdan ahamiyatli vosita hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Тимошенко С. П., Колебания в инженерном деле. — М.: Наука, 1967.
- [2] Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. Изд-во Лань, 2005.
- [3] Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. — М.: Наука, 1975. — 576 с.
- [4] Оболочки и пластины: Учебное пособие для механико-математических факультетов университетов / П. М. Огибалов, М. А. Колтунов. - Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1969. - 695 с.: ил.; 27 см.
- [5] Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1977. - 154 с.
- [6] Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. Учебное пособие. — М.: Наука, 1977. — 440 с., ил.
- [7] Алексеев Г.В. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. Учебное пособие. — Владивосток: ДВФУ, 2010. — 120 с.
- [8] Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Лекции по теории упругости Изд. стереотип. 2020. 208 с. Серия: Классический учебник МГУ

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

Rasulmuxamedov Maxamadaziz Maxamadaminovich / Makhamadamiz Rasulmukhamedov	Toshkent davlat transport universiteti, fizika-matematika fanlar nomzodi, dotsent E-mail: prof.rasulmukhamedov@gmail.com Tel.: +998 90 120 59 80 https://orcid.org/0000-0001-8404-3013
Mirzaeva Zamira Maxamadazizovna / Zamira Mirzaeva	Toshkent davlat transport universiteti, katta o'qituvchi. Email: zmirzaeva83@mail.ru Tel.: +998 90 357 83 01 https://orcid.org/0000-0002-1333-7361
Matkarimov Abdurashid Xayitmat o'g'li / Abdurashid Matkarimov	Toshkent davlat transport universiteti "Amaliy mexanika" kafedrası dotsenti, t.f.n., dotsent E-mail: abdurashidmatkarimov1952@gmail.com Tel.: + 998994952112 https://orcid.org/0000-0002-2570-5395
Mekhmonov Mashkhurbek Khusein ugli / Mashkhurbek Mekhmonov	Toshkent davlat transport universiteti, dotsent, t.f.n. E-mail: m.mekhmonov90@mail.ru Tel.: +998 94 362 19 00 https://orcid.org/0000-0002-1230-5552



An innovative surface coating for transportation infrastructure

E.V. Shchipacheva¹^a, R.H. Pirmatov¹, Li Jia Jun¹, R.R. Khasanov¹, S.T. Sadikov¹,
O.A. Sodikov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This study investigated the possibility of expanding the typology of the “Kislovodsk” structural roof by altering its shape through a transition from a square plan to a rectangular one. Calculations using the universal software and computational complex PK LIRA CAD 2017 for a structural slab with plan dimensions of 30×36 m showed that the forces in the elements of the proposed structure are lower than the values in the diagonals of standard 36×36 m structures: by 5% for tension – 12% for tension and 3 – 15% for compression. Calculations for the second group of limit states showed that the displacement caused by design loads does not exceed the allowable limit values. Based on the results of theoretical and model studies of the “Kislovodsk” type structural roof with plan dimensions of 30×36 m, it has been established that this structural solution possesses sufficient strength and acceptable deformability and can be applied in transportation infrastructure buildings – railway stations, bus stations, logistics centers, garages, parking lots, and warehouses.

Keywords: structural slab, typology, transportation infrastructure, calculation, load, forces, deformations

Инновационное пространственное покрытие для транспортной инфраструктуры

Щипачева Е.В.¹^a, Пирматов Р.Х.¹, Li Jia Jun¹, Хасанов Р.Р.¹, Садиков С.Т.¹,
Содилов О.А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Исследовалась возможность расширения типологии структурного покрытия «Кисловодск» за счет изменения формы покрытия путём перехода от квадрата в плане к прямоугольнику. Расчеты при помощи универсального программного расчётно-вычислительного комплекса ПК ЛИРА САПР 2017 структурной плиты с размерами в плане 30х36 м показали, что усилия в элементах предлагаемой структуры меньше значений в раскосах типовых структур 36х36 м: на растяжение на 5 – 12%, а на сжатие на 3 – 15%. Расчет по второй группе предельных состояний показал, что значение перемещения от расчётных нагрузок не превышает предельно допустимых значений. По результатам теоретических и макетных исследований структурного покрытия типа «Кисловодск» с размерами в плане 30х36 м установлено, что подобное конструктивное решение обладает достаточной прочностью и допустимой деформативностью и может быть применено в зданиях транспортной инфраструктуры – вокзалах, автостанциях, логистических центрах, гаражах, автостоянках, складах.

Ключевые слова: структурная плита, типология, транспортная инфраструктура, расчет, нагрузка, усилия, деформации

1. Введение

Прорывная революция в развитии строительных конструкций и экономии материалов обусловлена появлением лёгких пространственных металлических стержневых покрытий [1-4]. Так, например, одноэтажное здание с размерами в плане 30х30 м с кирпичными стенами и покрытием из сборных железобетонных конструкций с утеплителем из керамзитобетона имеет массу около 1000 тонн (без веса фундаментов), а использование такого же по размеру блока со структурным покрытием типа «Кисловодск»

весит в 25 раз меньше, всего 77 тонн, что указывает на значительное сокращение материалоемкости строений и, как следствие, объемов транспортных перевозок [5]. Кроме того, значительно сокращается и трудоёмкость возведения строительного объекта в целом [6].

Принимая во внимание, что развитие транспортной инфраструктуры требует создания новых типов зданий обслуживающего и производственного назначения и их конструктивного решения, а также формирования обширных интерьеров и разнообразных архитектурно выразительных форм, было целесообразным исследовать возможность расширения типологии широко распространенного структурного покрытия «Кисловодск» за счет изменения формы покрытия

^a <https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>



путём перехода от квадрата в плане к прямоугольнику, что позволило бы в определенной степени решить ряд указанных проблем.

Структурное покрытие типа «Кисловодск» выбрано не случайно, так как в Республике Узбекистан уже есть

опыт его использования именно в зданиях транспортной инфраструктуры – при строительстве автосалона в Ташкенте (рис.1) [7].



Рис. 1. Автосалон в г. Ташкенте

2. Методика исследования

Типовые структурные плиты типа «Кисловодск» имеют ортогональную сетку поясов с ячейкой 3×3 м и высотой по осям поясов равной 2,12 м. Стержни поясов изготавливаются из стальных горячекатаных и электросварных труб, соединенных между собой узловыми элементами, представляющими собой восьмигранники с резьбовыми отверстиями (рис. 2).



Рис. 2. Узловые элементы структуры «Кисловодск»

Узлы верхнего и нижнего пояса соединяются раскосами. Все стержни структуры имеют

одинаковую длину и в зависимости от нагрузки выполняются определенного диаметра и толщины. В серии 1.4663с, предназначенной для использования в сейсмически опасных районах, рекомендуется применять следующие типоразмеры элементов из труб: 60×3 , $76 \times 3,5$, 89×4 , 102×4 , 114×6 , 127×7 , 133×8 [8]. Структуры типа «Кисловодск» предназначены для перекрытия секции зданий размерами в плане 30×30 (рис. 3) и 36×36 м с внутриконтурным опиранием на четыре колонны, которые расположены для секции 30×30 м с шагом 18×18 м и для секции 36×36 м с шагом 24×24 м [3].

В исследованиях для сравнения рассматривались структурные плиты с размерами в плане 36×36 м и 30×36 м, опирающиеся посредством капителей на четыре несущие колонны высотой 6,2 м. Высота плиты составила 2,12 м. Материалом для изготовления стержней была принята сталь С 245, являющаяся более экономичной, чем высокоуглеродистые стали, благодаря своей относительно низкой стоимости и хорошей прочности [9]. Трубы приняты: 60×3 ; $76 \times 3,5$; 102×4 и 127×7 (согласно типовой конструкции марки СП 300-400).



Рис. 3. Структурный блок «Кисловодск» 30×30 м



3. Результаты и Обсуждение

В качестве изменения размеров структуры было предложен структурный блок 30х36 м с расстоянием между колоннами 18 и 24 м. Предстояло оценить прочность и деформационные свойства конструкции.

Расчёт структурной плиты произведен при помощи универсального программного расчётно-вычислительного комплекса ПК ЛИРА САПР 2017 [10]. Узловые соединения приняты шарнирными, с тремя степенями свободы. Опорные узлы также шарнирными, закреплёнными от перемещений по направлению местных осей координат. Нижняя часть колонн жёстко закреплена. Проектная нагрузка, равная 400 кг/м² [10], приводилась к вертикальной узловой нагрузке, приложенной к узлам верхнего пояса структурного покрытия.

Расчёт растянутых элементов производился в соответствии с требованиями [11] по формуле (1) и предельной гибкости $[\lambda]=400$.

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где A – фактическая или принятая площадь поперечного сечения элемента;

N – усилие, возникающее в элементе;

R_y – расчётное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу на границе текучести;

γ_c – коэффициент условий работы элемента.

Расчёт сжатых элементов производился в соответствии с требованиями [11] по формуле (2) и предельной гибкости, рассчитанной по формуле (3).

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot \alpha, \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{N}{\alpha \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma}$ – коэффициент, принимаемый $\geq 0,5$;

остальные обозначения такие же, как в формуле (1).

В результате расчёта было установлено, что усилия в элементах предлагаемой структуры 30х36 м меньше значений в раскосах типовых структур 36х36 м, приведенных в исследованиях [12], на растяжение на 5 – 12%, а на сжатие на 3 – 15%, следовательно обеспечивая необходимую прочность.

При расчёте по второй группе предельных состояний должно выполняться условие:

$$f \leq f_u \quad (4)$$

где f – прогиб (выгиб) и перемещение элемента конструкции (или конструкции в целом);

f_u – предельный прогиб (выгиб) или перемещение, устанавливаемые по [11]. Для типовой конструкции 36х36 м он составляет:

$$1/400 = 24000/400 = 60 \text{ мм}$$

Расчёт показал, что значение перемещения от расчётных нагрузок для структуры 30х36 м составляет 48 мм, что на 7% меньше прогиба для структуры 36х36 м и не превышает предельного значения.

Полученные расчётным путём результаты были проверены на возможность реализации при помощи создания макета структурного покрытия в масштабе 1:50 (рис. 4).

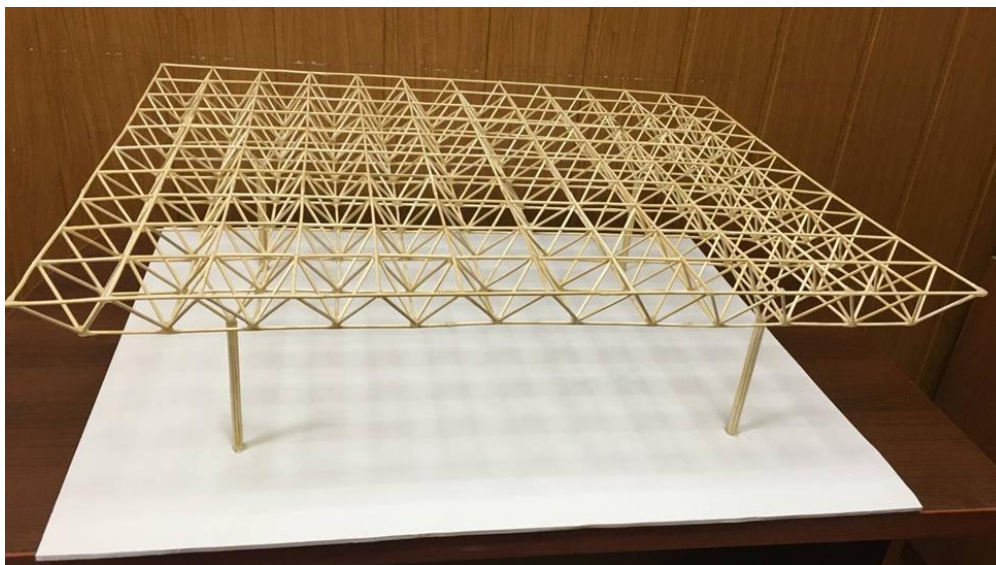


Рис. 4. Макет предлагаемого структурного блока «Кисловодск» размером 36х30 м

4. Заключение

По результатам теоретических и макетных исследований структурного покрытия типа «Кисловодск» с размерами в плане 30х36 м установлено, что подобное конструктивное решение обладает достаточной прочностью и допустимой деформативностью и может быть применено в зданиях транспортной инфраструктуры – вокзалах, автостанциях, логистических центрах, гаражах, автостоянках, складах. При этом материалоёмкость

возведения объектов с использованием предлагаемого структурного покрытия по сравнению с покрытием из сборных железобетонных конструкций может быть снижена в десятки раз, а трудовые затраты сокращены более чем в 2,5 раза.

Использованная литература / References

[1] Chilton, J. Space Grid Structures / J. Chilton. – Oxford: Architectural Press, 2000 – 191 p.

[2] Марутян, А. С. Легкие металлоконструкции из перекрестных систем – Пятигорск : РИА КМВ, 2009 – 348 с.

[3] Михайлов, В. В. Пространственные стержневые конструкции покрытий (структуры) – Владимир : ВлГУ, 2011 – 56 с.

[4] Schumacher, M. Move – Architecture in Motion /M. Schumacher, O. Schaeffer, M. M. Vogt. – Basel :Birkhauser Verlag AG, 2010 – 248 p.

[5] Баранов С.М. Усовершенствование структурных покрытий типа «Кисловодск»/ Автореф. дисс. к.т.н. – М.: 1996 - <https://tekhnosfera.com/usovershenstvovanie-strukturnyh-pokrytiy-tipa-kislovodsk>

[6] Потасьев С.С. Конструкции структурных покрытий в отечественной практике проектирования и способы их монтажа// Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 7. С. 1079–1090. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1079-1090

[7] <https://metallstroy.sfera.ru/project/stroitelstvo-avtosolona-v-g-tashkent-nashim-dilerom>

[8] Серия 1.466 3с. Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск» для зданий с расчетной сейсмичностью 8 и 9 баллов /Гипромонтажиндустрия Минмонтажспецстроя СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1977 –25 с.

[9] <https://specstaly.ru/about/stati/stal-s245>

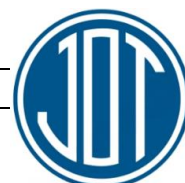
[10] Серия 400-0-2. Унифицированные одноэтажные промышленные здания / секции /из легких металлических конструкций - Госстрой СССР, 1973

[11] ШНК 2.03.05-13 Стальные конструкции. Нормы проектирования.- Ташкент: Госархитектстрой, 2012 - 171 с.

[12] Филиппович С.В., Латыпов В.М., Филиппович С.С. Статистика некоторых результатов обследования зданий с пространственными решетчатыми покрытиями из труб типа "Кисловодск". Анализ напряженно-деформированного состояния с учетом дефектов монтажа. - <https://pamag.ru/src/prensa/036.pdf>

Информация об авторах/ Information about the authors

Щипачева Елена Владимировна/ Elena Shchipacheva	Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» E-mail: eshipacheva@mail.ru https://orcid.org/0009-0000-0489-445X
Пирматов Рахматулла Хамидуллаевич / Rakhmatulla Pirmatov	Ташкентский государственный транспортный университет, к.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» E-mail: prx55@mail.ru
Li Jia Jun	Ташкентский государственный транспортный университет, ст.гр. MQMB-3
Хасанов Радмир Русланович / Khasanov Radmir Ruslanovich	Ташкентский государственный транспортный университет, ст.гр. BI-9
Садиков Сардор Темурович/ Sadikov Sardor Temurovich	Ташкентский государственный транспортный университет, ст.гр. BI-9
Содиков Озodbek Авазович/ Sodikov Ozodbek Avazovich	Ташкентский государственный транспортный университет, ст.гр. BI-10



The effect of adhesion properties on asphalt concrete pavement

G.K. Isakova¹^a, I.S. Sadikov¹^b, R.K. Kadirbergenov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The resistance of asphalt pavements to traffic loads and environmental influences is directly dependent on the mechanical bonding of the selected bitumen-aggregate materials, the properties of the bitumen-aggregate interface, and the internal cohesive strength of the bitumen. Studies have shown that the strength of the bitumen-aggregate bond depends primarily on the composition of these two components and the degree of exposure to moisture. To ensure satisfactory performance of bitumen pavements, it is necessary to select appropriate combinations of bitumen and aggregates.

Keywords: asphalt binder, bitumen, mineral materials, aggregates, adhesion, asphalt concrete, bond strength, moisture effect

Влияние адгезионных свойств на асфальтобетонное покрытие

Исакова Г.К.¹^a, Садиков И.С.¹^b, Кадирбергенов Р.К.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Сопротивление асфальтобетонных покрытий транспортным нагрузкам и воздействию окружающей среды напрямую зависит от механической связи выбранных битумно-заполнительных материалов, свойств границы раздела битум-заполнитель и внутренней когезионной прочности битума. Исследования показали, что прочность связи битум-заполнитель зависит прежде всего от состава этих двух компонентов и степени воздействия влаги. Для обеспечения удовлетворительных эксплуатационных характеристик битумных покрытий необходимо правильно подобрать комбинации битума и заполнителей.

Ключевые слова: асфальтовое вяжущее, битум, минеральные материалы, заполнители, адгезия, асфальтобетон, прочность сцепления, воздействие влаги

1. Введение

Современная дорожная транспортная инфраструктура рассматривается как один из ключевых факторов экономического развития. Долговечность и эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий в значительной степени определяются адгезионными свойствами между битумом и минеральными заполнителями. Процесс адгезии протекает на различных масштабных уровнях (мультиуровневый характер), при этом селективная адсорбция молекул битума на поверхности заполнителя играет решающую роль. Прочность и долговечность дорожных покрытий напрямую зависят от качества асфальтобетонных смесей. В этих смесях основными компонентами являются асфальтовое вяжущее (битум) и минеральные заполнители.

Значительная часть дорожных покрытий во всём мире сооружается с использованием битумных смесей. Битумная смесь представляет собой композиционный материал, состоящий из битумного вяжущего, заполнителей и минерального порошка, которые смешиваются в определённых пропорциях для устройства нежестких дорожных покрытий. В ряде случаев в состав смесей вводятся добавки с целью улучшения эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Адгезионное сцепление между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями обеспечивает механическую прочность, водостойкость и устойчивость к деформациям асфальтобетонных покрытий. При недостаточной адгезии битума к поверхности заполнителя в покрытии могут возникать такие дефекты, как трещины и выбоины.

Процесс адгезии связан с действием молекулярных сил притяжения, поверхностной энергией и явлениями адсорбции. Полярные компоненты битума адсорбируются на поверхности заполнителя, формируя прочную связь. В связи с этим исследование химического и минералогического состава как асфальтового вяжущего, так и минеральных заполнителей имеет важное научное и практическое значение.

2. Методика исследования

Адгезионное сцепление между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями обеспечивает механическую прочность, водостойкость и устойчивость к деформациям асфальтобетонных покрытий. При недостаточной адгезии битума к поверхности заполнителя в покрытии могут возникать такие дефекты, как трещины и выбоины [1].

Процесс адгезии связан с действием молекулярных

^a <https://orcid.org/0009-0001-4990-8920>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2595-288X>

^c <https://orcid.org/0009-0002-4922-0744>



сил притяжения, поверхностной энергией и явлениями адсорбции. Полярные компоненты битума адсорбируются на поверхности заполнителя, формируя прочную связь. В связи с этим исследование химического и минералогического состава как асфальтового вяжущего, так и минеральных заполнителей имеет важное научное и практическое значение [2]. Кандхал и Рикардс выделили четыре основных фактора, способствующих отслаиванию: наличие влаги, высокая температура, повышенное содержание воздушных пустот и высокие напряжения [3]. Отслоение представляет собой микроскопическое отделение битумной плёнки от поверхности заполнителя под воздействием влаги без явного разрыва самой битумной плёнки. Аппажеи, Гренфелл и Эйри (2014) провели исследование, посвящённое наблюдению обратимого влагового повреждения в асфальтобетонных смесях. Результаты показали, что жёсткость материала, как правило, снижается с увеличением времени кондиционирования. Согласно Маннану, Ахмаду и Таредеру (2017), скорость самовосстановления вяжущего также зависит от воздействия влаги [1]. Фактический механизм повреждений, вызванных воздействием влаги, до конца не изучен, однако считается, что данное явление в значительной степени обусловлено физико-химическими взаимодействиями между мастикой и минеральными заполнителями в присутствии воды. Образование межфазного слоя воды толщиной в несколько монослоёв (35–45 нм) на границе раздела «заполнитель–битум» рассматривается как одна из основных причин потери адгезии [2]. Показано (Airey и др., 2007), что минералогический и химический состав заполнителей может играть более существенную роль в развитии влаговых повреждений, чем свойства битума, такие как глубина проникания, кислотное число и распределение молекулярных размеров [4]. Согласно Фромму, обратная эмульгация влаги в битуме приводит к потере адгезии и последующему разрушению сцепления. Выделено несколько механизмов отслаивания (stripping), включая вытеснение, отрыв, поровое давление, самопроизвольную эмульгацию и гидравлическое размывание [4]. Кеннеди и Пинг определили stripping как потерю адгезионной связи между минеральным заполнителем и битумным вяжущим [5].

Как отмечалось ранее, асфальтовая мастика может рассматриваться как основной адгезионный компонент, связывающий заполнители в смеси. Поэтому для более глубокого понимания проблемы влаговых повреждений необходимо учитывать основные концепции, лежащие в основе процессов адгезии и разупрочнения (дебондинга). В настоящее время предложено несколько теорий адгезии, включая теорию физической адсорбции, теорию химического связывания, диффузионную теорию, теорию электростатических взаимодействий, теорию механического зацепления и теорию слабого пограничного слоя [6]. Одним из проявлений повреждения адгезионной связи с отрицательной работой адгезии в присутствии воды является необратимая потеря прочности сцепления. Для асфальтобетонных смесей подходы, основанные на теории физической адсорбции, в настоящее время являются наиболее широко применяемыми [7]. Это объясняется тем, что связь между битумом и

минеральным заполнителем формируется за счёт тесного контакта тонких плёнок асфальтового вяжущего и поверхности заполнителя в процессе смешивания.

В испытаниях методом ESEM-EDS на микроуровне исследуется интерфейс между битумом и минеральными материалами, а также определяется адсорбция различных элементов битума поверхностью минералов. Измерения ESEM-EDS проводятся на поперечных сечениях композитных образцов системы «битум–минеральный материал». Полярные молекулы, выступающие в качестве «якорных» (footprint) молекул в слое битума, в различной степени адсорбируются на поверхности различных минералов. В данном исследовании в качестве индикатора используется отношение содержания углерода к кислороду (C/O). Изменение значения данного показателя на различных расстояниях от поверхности минерала отражает различия в адсорбции полярных веществ на разных минеральных поверхностях [8].

Как отмечалось ранее, минералогический состав заполнителей оказывает существенное влияние на восприимчивость асфальтобетонных смесей к влаговому повреждению. Минералогический состав заполнителей был охарактеризован с использованием анализатора минерального состава (Mineral Liberation Analyzer, FEI Quanta 600 SEM). Данный прибор сочетает автоматизированный сканирующий электронный микроскоп и несколько энергодисперсионных рентгеновских детекторов с современным программным обеспечением для получения количественных минералогических характеристик. Полученные результаты были использованы для идентификации ключевых минеральных фаз и оценки их влияния на снижение адгезионной прочности системы «заполнитель–мастика» под воздействием влаги [11]. Другим важным параметром, влияющим на влаговые повреждения асфальтобетонных смесей, является скорость и степень водопоглощения заполнителей. Испытания на водопоглощение проводились с целью моделирования переноса влаги в структуре заполнителей методом полного погружения в воду при температуре 20 °С. Методика предусматривала погружение необработанных дисков заполнителя номинальными размерами 23 мм в диаметре и 15 мм по толщине в деионизированную воду с последующим измерением поглощённой влаги с использованием высокочувствительных микровесов (разрешение 0,1 мкг) [11].

3. Результаты и обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что минералогический и химический состав заполнителей напрямую влияет на адсорбцию молекул битума. В частности, компоненты битума, содержащие полярные функциональные группы, проявляют более прочное взаимодействие с поверхностью заполнителя, что способствует увеличению прочности адгезии.

Заполнители и асфальтовые мастики характеризуются значительными различиями по способности к влагопоглощению. На основании испытаний динамической сорбции водяного пара установлено, что гранитные заполнители поглощают больше влаги по сравнению с известняковыми. Такое поведение объясняется наличием гидрофильных



минералов в минералогическом составе гранита, таких как кварц и полевой шпат.

Более того, явление селективной адсорбции приводит к изменению состава битума с течением времени, что, в свою очередь, влияет на процессы старения и восприимчивость асфальтобетонных покрытий к воздействию влаги. Результаты лабораторных испытаний также показали, что уровень адгезионного сцепления между асфальтовым вяжущим и минеральными заполнителями зависит от типа заполнителя и условий испытаний [4].

С использованием методов ESEM-EDS было проведено наблюдение фактической адгезионной границы между битумом и различными минеральными поверхностями на микроскопическом уровне. Образцы, подготовленные методом криоразлома (freeze-fracture), позволили сформировать гладкий и чётко выраженный поперечный срез на границе «битум–минерал». Это, в свою очередь, создало необходимые условия для достоверного анализа распределения элементов [8].

Результаты линейного сканирования методом EDS убедительно подтвердили явление селективной адсорбции полярных компонентов битума на поверхности минералов. Резкое изменение отношения углерода к кислороду (C/O) в области, близкой к границе раздела, указывает на то, что молекулы битума распределены по поверхности заполнителя неравномерно, а высокополярные вещества имеют тенденцию к накоплению на интерфейсе [8]. Заполнители могут классифицироваться как кислые или основные (щелочные) в зависимости от их химической природы. Согласно исследованиям Хефера, кислые материалы, как правило, образуют более прочные химические связи с основными материалами, тогда как основные материалы более эффективно взаимодействуют с кислыми. В системе «битум–заполнитель» образование прочной химической связи происходит, например, в случае, когда основной заполнитель, такой как известняк, вступает в благоприятное взаимодействие с кислыми компонентами, присутствующими в битуме [9].

Карбонат кальция (CaCO_3), содержащийся в известняке, образует прочные связи с карбоновыми кислотами в составе битума. В отличие от этого, кремнистые (силикатные) заполнители обладают кислой природой, в то время как сам битум также рассматривается как слабокислый материал. Поэтому прочность адгезии между битумом и такими заполнителями относительно невысока [9].

Кеннеди и Пинг (1991) определили отслаивание (stripping) как потерю адгезии между битумом и заполнителями под воздействием воды [5]. Кандхал и Рикардс (2001) выделили основные факторы, способствующие отслаиванию: наличие влаги, высокая температура, повышенное содержание воздушных пустот и повышенный уровень напряжений [3].

Исследования показали, что асфальтобетонные смеси, потерявшие до 80% первоначальной жёсткости, могут полностью восстанавливать свои свойства после высыхания. Ким и соавт. продемонстрировали, что использование гидратированной извести (Ca(OH)_2) эффективно снижает влаговые повреждения и улучшает сцепление между битумом и заполнителями [10].

Также было установлено, что при увеличении глубины проникания битума с 60/70 до 80/100 прочность

сцепления снижается примерно на 9,73%. Кроме того, в сухих условиях около 90% первоначальной прочности сцепления формируется в течение первых 24 часов. Дальнейшее увеличение прочности происходит значительно более медленными темпами [10].

Данная методика включает экспонирование образцов заполнителей при различных концентрациях (частичных парциальных давлениях) специально подобранных зондовых жидкостей и измерение прироста массы во времени с использованием высокочувствительных микровесов (с разрешением 0,1 мкг). В качестве зондовых жидкостей использовались хлороформ, этилацетат и октан. Подробное описание метода сорбции приведено в других источниках.

Полученные результаты были использованы для построения ряда сорбционных изотерм, на основе которых оценивались удельная поверхность по методу Брунауэра–Эмметта–Теллера (BET), а также компоненты поверхностной свободной энергии (SFE) заполнителей. Кроме того, результаты позволили оценить относительную пористость заполнителей, а также термодинамическую работу адгезии и разрушения (debonding) связи «заполнитель–битум».

[11] Результаты, демонстрирующие лучшую устойчивость к повреждениям, вызванным влагой, для связей заполнителя, содержащих известняковую мастику, чем гранитную мастику, согласуются с предыдущими исследованиями [1] более сложных испытаний асфальтобетонных смесей. На этом основании можно утверждать, что представленная в данном исследовании установка для испытаний стыковых швов предлагает перспективный подход к оценке чувствительности асфальтобетонных смесей к влаге.

Полученные результаты показывают, что процесс адгезии между асфальтовым вяжущим и заполнителями зависит от ряда факторов. Во-первых, минеральный состав заполнителей играет значительную роль. Щелочные заполнители демонстрируют лучшую адгезию с битумом, тогда как кислые заполнители более восприимчивы к влаге.

Во-вторых, состав битума также имеет большое значение. Модифицированные битумы образуют более прочные адгезионные связи с заполнителями [3].

В-третьих, условия окружающей среды, особенно влажность и температура, оказывают значительное влияние на срок службы асфальтобетонных покрытий. Поэтому при проектировании асфальтобетонных смесей необходимо выбирать подходящую комбинацию асфальтового вяжущего и заполнителей.

4. Заключение

Результаты данного исследования показывают, что адгезионная связь между асфальтовым вяжущим и заполнителями играет решающую роль в прочности и долговременной работоспособности асфальтобетонных покрытий. Поэтому при проектировании асфальтобетонных смесей выбор совместимого сочетания асфальтового вяжущего и заполнителей, а также улучшение их адгезионных свойств имеет важное научное и практическое значение для повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий.



Использованная литература / References

- [1] Airey, G. D., & Choi, Y. K. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. Road Materials and Pavement Design, 3(4), 355–372, 2002.
- [2] Nguyen, T., Byrd, E., Alsheh, D., & Bentz, D. Relation between adhesion loss and water at the polymer/substrate interface. Proceedings adhesion society meeting, Hilton Head Island, SC, USA, 1995.
- [3] Prithvi S. Kandhal and Ian J. Rickards, “Premature failure of asphalt overlays from stripping case histories,” Paper presented at the annual meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists held in Clear Water, Florida, 2001.
- [4] Fromm, H. J. The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces. Ontario: Ministry of Transportation and Communication, 1973.
- [5] Kennedy, T. W., and W. V. Ping, “Comparison Study of Moisture Damage Test Methods for Evaluating Antistripping Treatments in Asphalt Mixtures.” Transportation Research Record, no. 1323: 361–1981, 1991.
- [6] Wake, W. C Theories of adhesion and uses of adhesives: A review. Polymer, 19(3), 291–308, 1978.
- [7] Bhasin, A., Masad, E., Little, D. N., & Lytton, R. L. (2006). Limits on adhesive bond energy for improved resistance of hot-mix asphalt to moisture damage. Transportation Research Record 1970, 3–13..
- [8] Lu Zhou, Gordon Airey, Yuqing Zhang & Chonghui Wang, “Multiscale characterisation on the adhesion and selective adsorption at bitumen–mineral interface”, Road Materials and Pavement Design, pp. 3–21, 2024.
- [9] Hefer, A. “Adhesion in Bitumen-aggregate Systems and Quantification of the Effects of Water on the Adhesive Bond.” PhD diss., Texas A&M University, 2005.
- [10] Kim, Y.-R., J. S. Lutfi, A. Bhasin, and D. N. Little. “Evaluation of Moisture Damage Mechanisms and Effects

of Hydrated Lime in Asphalt Mixtures through Measurements of Mixture Component Properties and Performance Testing.” Journal of Materials in Civil Engineering 20, 2008 659–667.

[11] Alex K. Apeagyei, James R. A. Grenfell & Gordon D. Airey, Moisture-induced strength degradation of aggregate–asphalt mastic bonds “Road Materials and Pavement Design” 232-239, 2024.

Информация об авторах/ Information about the authors

Садиков И.С. / I.S. Sadikov	Ташкентский государственный транспортный университет, т.н., профессор кафедры «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог» E-mail: jaamm.ru@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-2595-288X
Исакова Г.К. / G.K. Isakova	Ташкентский государственный транспортный университет, Докторант кафедры «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог» E-mail: gulxanisakova22@gmail.com https://orcid.org/0009-0001-4990-8920
Кадирбергенов P.K / R.K Kadirbergenov	Ташкентский государственный транспортный университет, магистрант E-mail: gadirbergenovruslan055@gmail.com



Analysis of international experience in organizing train operations on complex mountainous railway sections

M.N. Masharipov¹, E.A. Asatov¹, R.Sh. Bozorov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Currently, one of the urgent problems of railway transport is the effective use of the train capacity and carrying capacity of sections by optimizing the mass and speed of freight trains on complex mountain railway sections. For this purpose, the rational use of train capacity through the introduction of resource-saving technologies into the methods of organizing train traffic on railway sections, as well as the introduction of scientifically based practical recommendations for optimizing their mass and speed, is of great importance. Based on this, based on the main qualitative and quantitative indicators of the work of railway sections, their available, required throughput capacity, sectional and technical speeds, as well as the amount of transported cargo, are calculated. For this purpose, this article provides an in-depth analysis of the practical skills of developed countries in this area.

Keywords: complex mountain sections of roads, trains, mass, speed, world experience, technology, improvement

Murakkab tog‘li temir yo‘l uchastkalarida poyezdlar harakatini tashkil etish bo‘yicha xorijiy tajribaning tahlili

Masharipov M.N.¹, Asatov E.A.¹, Bozorov R.Sh.¹

¹Tashkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Hozirgi kunda temir yo‘l transportining murakkab tog‘li temir yo‘l uchastkalarida yuk poyezdlari massasi va tezligini optimallashtirish orqali uchastkalarining poyezd o‘tkazuvchanlik va tashuvchanlik qobiliyatidan samarali foydalanish dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Shu maqsadda temir yo‘l uchastkalarida poyezdlar harakatini tashkil etish usullariga resurstejamkor texnologiyalarni tatbiq qilish, shuningdek ular massasi va tezligini optimallashtirish bo‘yicha ilmiy asoslangan amaliy tavsiflarni amaliyotga joriy etish orqali ularning poyezd o‘tkazuvchanlik qobiliyatidan ratsional foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Bunga asoslanib temir yo‘l uchastkalari ishining asosiy sifat va son ko‘rsatkichlari bo‘yicha ularning mavjud, zaruriy o‘tkazuvchanlik qobiliyati, uchastka va texnik tezliklar, shuningdek, tashilgan yuklar miqdori hisoblanadi. Shu maqsadda aynan ushbu maqolada jahonning taraqqiy etgan davrlarning ushbu yo‘nalishda amaliy ko‘nikmalari chuqur tahlili amalga oshirildi.

Kalit so‘zlar: murakkab tog‘li yo‘l uchastkalari, poyezdlar, massasi, tezligi, jahon tajribasi, texnologiya, takomillashtirish

1. Kirish

“O‘zbekiston – Qirg‘iziston – Xitoy” temir yo‘lini qurilishi Respublikamizning tranzit salohiyatini yuksalishiga xizmat qilib yuk va poyezd oqimlarini ortishiga zamin yaratadi. Bu esa Markaziy Osiyo davlatlarini Hind okeani va Fors ko‘rfazi portlariga eng qisqa masofalarda chiqish imkoniyatini yaratadi hamda Janubiy va Janubiy – G‘arbiy Osiyoni Xitoy bozorlari bilan temir yo‘llar orqali bog‘laydi. Shuni alohida ta‘kidlash lozimki, “Angren – Pop” temir yo‘l uchastkasi “Xitoy – Markaziy Osiyo – Yevropa” tranzit yo‘lagida muhim bo‘g‘in hisoblanadi, ushbu uchastkadan barqaror poyezdlarni o‘tkazish esa butun yo‘nalishning samaradorligini belgilab beradi. Shu maqsadda, ushbu murakkab tog‘li yo‘l uchastkasida joylashgan “Angren – Pop” temir yo‘l tunnelining yuk tashuvchanlik va poyezd o‘tkazuvchanlik qobiliyatini tahlil qilish, ilg‘or xorijiy tajribalar asosida uning faoliyatini takomillashtirish, poyezdlar o‘tkazish texnologiyalarini takomillashtirish, uchastkada harakatlanayotgan yuk poyezdlari massasini optimallashtirish bo‘yicha ilmiy

asoslangan texnik-texnologik yechimlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Rivojlangan davlatlar bo‘lmish AQSH, Shveytsariya, Kanada, Xitoy va Rossiya kabi qator davlatlar transport sohasining asosiy ilmiy-amaliy yo‘nalishlaridan biri murakkab va tog‘li relyefga ega temir yo‘l uchastkalarida yuk poyezdlari massasini optimallashtirish asosida uchastkalar tashuvchanlik qobiliyatidan oqilona foydalanish sanaladi.

Amerika Qo‘shma Shtatlari temir yo‘llari murakkab Appalachi tog‘ tizmalari orqali o‘tganligini hisobga olib, ushbu temir yo‘llarda poyezdlar harakatini tashkil etish texnologiyalarini o‘rganish lozimdir. Aynan ushbu tog‘li uchastkalarda poyezdlarni boshqarishni takomillashtirgan tizimi (Advanced train control systems – ATCS) va taqsimlanadigan energiya bloklari (Distributed power units – DPU)dan foydalangan holda poyezdlar harakati tashkillashtiriladi (1-rasm). Ushbu tizimlar yuk poyezdlari bir nechta lokomotivlarini markazlashgan boshqarish



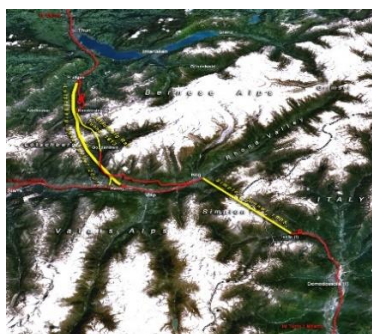
asosida harakatni o'zaro muvofiqlashtirish va yuk taqsimotini optimallashtirish imkonini beradi. Shuningdek, poyezdlar energiya sarfini boshqarish tizimi (Train energy management systems – TEMS) yordamida real vaqt rejimida yuk poyezdining massasi, turli yuklamalar, tormoz masofasi va energiya sarfi kuzatib boriladi bu esa massani xavfsiz va samarali taqsimlash imkonini beradi [9-11].



1-rasm. AQSH Appalachi murakkab tog'li temir yo'l uchastkalarida harakatlanayotgan yuk poyezdlari

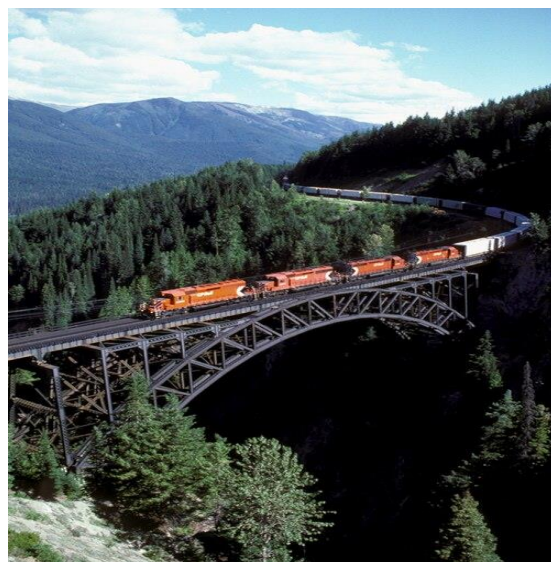
Ushbu temir yo'llarning Janubiy tinch okeani bo'limida qiyaligi 33 %ogacha bo'lgan uchastkalar uchun og'irligi 6000 tonnadan yuqori bo'lgan ikkilangan va uchlangan poyezdlar harakati yo'lga qo'yilgan. Bunda lokomotivlar soni ikkita bo'lganida birinchisi tarkib boshiga ikkinchisi poyezd uzunligining 3/5 qismidan keyin qo'yilishi belgilangan. Agar poyezd tarkibida uchta lokomotiv bo'lsa birinchisi tarkib boshiga, ikkinchi va uchunchi lokomotivlar esa uchlangan tarkib o'rtasiga birgalikda qo'yilgan holda tashilib kelinmoqda [12].

Shveysariya og'ir relyef sharoitiga ega bo'lgan Alp tog' tizmasi orqali yuklarni tashishga moslashgan. Ushbu temir yo'llarda elektrlashtirilgan tortuv tizimlari va yuqori aniqlikdagi lokomotiv yuk sensor tizimlari orqali lokomotiv elementlariga tushadigan yuklamalar harakat davomida qayd etib boriladi va yo'l safarida yuk poyezdlarining massasi qat'iy nazorat qilinadi. Ushbu temir yo'llarning har bir uchastkasi uchun yuk massasining maksimal miqdorlari belgilangan bo'lib undan yuqori massadagi yuk poyezdlarini harakatlanishiga ruxsat berilmaydi. Shuningdek, poyezdlar harakatini rejalashtirishda sun'iy intellekt asosida modellash tirish vositalaridan ham keng miqyosida foydalaniladi. Shveysariyaning 14,61 km uzunlikka ega bo'lgan ikki yo'lli Lyochberg tunneli orqali 2017-yilda kuniga 110 ta poyezd o'tgan, bundan, 80 ta poyezd og'ir yuk poyezdlari bo'lib, maksimal yuk tashish hajmi yiliga 35,7 million tonnani tashkil etgan (2-rasm). Yuk poyezdlarning uzunligi 1500 metrgacha massasi esa 3600 tonnagacha ruxsat berilgan [2-11].



2-rasm. Shveysariyaning Alp tog' tizmalari orqali o'tgan lyochberg temir yo'l tunneli

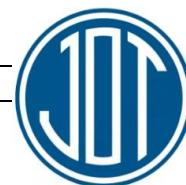
Kanada temir yo'llarida tog' hududlari orqali o'tgan uchastkalarda yuk poyezdlari massasini optimallashtirish maqsadida lokomotiv va vagonlar orasidagi ulanishlarda yuklamalar tahlili amalga oshirilib boriladi. Bu usul yordamida massani bir tekis taqsimlash imkoniyati yaratiladi va avtoulagichlarga tushadigan ortiqcha yuklanishlar oldi olinadi (3-rasm). Kanada temir yo'llari kompaniyalari, xususan Kanada tinch okeani temir yo'li kompaniyasida (Canadian pacific railway) avtomatlashtirilgan yuk muvozanati algoritmlaridan foydalangan holda yuk massasini nafaqat texnik jihatdan, balki iqtisodiy ko'rsatkichlar asosida optimallashtiriladi [1, 12].



3-rasm. Kanada temir yo'llarida harakatlanayotgan og'ir tarkibli yuk poyezdlari

Xitoy tog'li hududlari orqali o'tgan temir yo'l yo'nalishlarida og'ir harakatda tarkiblarni tashish uchun odatda yuqori quvvatli va ko'p o'qli lokomotivlarlardan foydalanish yo'lga qo'yilgan. Xitoy temir yo'llari tizimida Big Data va IoT (Internet of Things) texnologiyalari asosida yuk monitoring tizimlari joriy qilingan bo'lib, ular har bir vagonning real vaqtdagi holatini nazorat qilishga xizmat qiladi. Shu orqali ortiqcha yuklanishlar aniqlanib, massani avtomatik ravishda tenglashtirish amalga oshiriladi. AQSH temir yo'llarida bo'lgani kabi Xitoy temir yo'llarida ham ko'mir va ruda tashish maqsadida ommaviy og'ir vaznli yuklarni tashish ommalashgan. "Datong – Tsin'xuandao" uchastkasida yuk poyezdlari og'irligi 10000 tonna va poyezdlararo vaqt intervali 13 daqiqani tashkil etadi [1, 9-12].

Rossiya temir yo'llari tizimida tog'li yo'l uchastkalari, xususan Sibir va Ural hududlari bo'ylab yuklarni tashishda tormoz tizimlarida kompozitsiyali materiallardan, masofadan boshqariluvchi tormozlash tizimlaridan va dinamik yuk taqsimotini boshqarish tizimlari keng qo'llanilib kelinmoqda. Yuk massasini optimallashtirishning turli matematik modellardan, poyezdlar harakat grafigining aniq tahlili va har bir uchastka uchun mo'ljallangan yuk aylanmasini hisobga olgan holda maksimal yuk ortish me'yorlari belgilanadi. Rossiya tajribasida yuk poyezdlarining uzunligi ham muhim omil bo'lib, yuk poyezdi massasini poyezd uzunligi bilan muvofiqlashtirilgan amaliyoti keng qo'llaniladi. Xususan, umumiy uzunligi 4324 kilometr bo'lgan Baykal-Amur magistrali (BAM) yoki



Transsibir temir yo'l magistrallarining murakkab tog'li yo'llarida yuk poyezdlarining og'irligi 4000 tonna etib belgilangan. Ushbu uchastkalarda poyezdlar ko'pincha qo'shimcha yordamchi lokomotivlar bilan harakalanadi, xususan ol tomonidan tortuvchi yoki ort tomonidan suruvchi.

Baykal-Amur magistrali uchun zamonaviy lokomotivlardan foydalaniladi, ya'ni massasi 7100 tonnagacha poyezdlarni tortishga qodir bo'lgan 3 TE25K2M seriyali dizel lokomotivlari yordamida sinov yurishlari amalga oshirilgan. Shuningdek, ba'zi sharoitlarda ushbu lokomotivlar massasi 8230 tonna bo'lgan poyezdlarni tortgan. Qolaversa, Ural tog' tizmalari orqali 2011-yilda 2ES10 "Granit" rusumli lokomotivlar yordamida ushbu lokomotivlarni uch bo'limli turidan foydalanib (uchlangan tarkib) massasi 9000 tonna bo'lgan poyezdlar tashilgan.



4-rasm. Baykal-Amur magistralining murakkab tog'li temir yo'l uchastkasida harakatlanayotgan 3TE25K2M rusumli teplovoz

Sinov natijalariga asosan o'rtacha nishablik 16 %oni, maksimal nishablik 20 %oni tashkil etgan. Yuk poyezdlari harakat tezligi 20÷30 km/soatni tashkil etgan.

3. Xulosa

Xorijiy davlatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, murakkab tog'li temir yo'l uchastkalarida yuk poyezdlarini harakat xavfsizligini ta'minlagan holda tashkil etish dolzarb ahamiyatga ega. Shu maqsadda yuk poyezdlarini massasini optimallashtirish nafaqat texnik balki boshqaruv, logistika, raqamli texnologiyalar va modellashtirish bilan uzviy bog'liqdir. Shu maqsadda O'zbekiston temir yo'llarining murakkab tog'li yo'l uchastkalari uchun yuk poyezdlari massasini lokomotiv tizimlari, yo'llar holati, energiya sarfalari va yana bir qancha omillarni hisobga olgan holda me'yorlashtirish shuningdek, yuk poyezdlarini o'tkazish texnologiyasini takomillashtirish lozim. Bu vazifalarni yechish uchun albatta taraqqiy etgan davlatlarning va mahalliy olimlarning ilmiy izlanish natijalarini tahlilini amalga oshirish lozimdir.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Рачек С. В., Колышев А. С. Применение технологии тяжеловесного движения на железных дорогах мира // Евразийский Союз Ученых. 2016. №1 (22).

[2] Asatov E.A. "O'zbekiston-Qirg'iziston-Xitoy" temir yo'lining "Angren-Pop" uchastkasi o'tkazuvchanlik va tashuvchanlik qobiliyatiga ta'sirini tahlil qilish / M.N. Masharipov, O'.O'. Xusenov, R.Sh. Bozorov, E.A. Asatov // The scientific journal vehicles and roads. – 2025. – № 2. – 209-217 b.

[3] Аллистер, В. Обзор транспортной системы США / В. Аллистер // Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования: Материалы Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 11–12 декабря 2014 года / Уральский государственный педагогический университет. Том 1. – Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2014. – С. 10-21.

[4] Юлдашов, А.А. Исследование продольной динамики грузового поезда при использовании электродинамического торможения в условиях горного участка железной дороги Ангрен – Пап / П.А. Сахаров, А.А. Юлдашов // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – № 14. – С. 210–221.

[5] Тимухина Е. Н. Метод выявления лимитирующих железнодорожных станций для пропуска тяжеловесных поездов на полигоне дороги / Е.Н. Тимухина, В. Ю. Пермикин, Н. В. Кашеева // Транспорт Урала. – 2017. – № 1. – С. 40–44.

[6] Мугинштейн Л. А. Комплексные испытания вождения поездов массой до 6000 т на направлениях Хабаровск–Находка–Владивосток : Отчет НИР / Л. А. Мугинштейн, В. И. Рахманинов. – М. : ВНИИЖТ, 2002. – 72 с.

[7] Кудрявцев В. А. Определение оптимальной нормы состава грузового поезда / В. А. Кудрявцев, В.В. Волчанинов, Ю. А. Кокшаров // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2004. – Вып. 2. – С. 19–28.

[8] Аль-Шумари А. С. Влияние веса и скорости грузовых поездов на провозную способность однопутных линий большой грузонапряженности / А. С. Аль-Шумари, О. В. Котенко // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2011. – Вып. 1. – С. 27–35.

[9] <https://traffic.od.ua/news/worldtrans/1226721>

[10] <https://zdmira.com/images/pdf/ dm2008-07 20-25.pdf>

[11] <https://zdmira.com/images/pdf/ dm2007-04 9-32.pdf>

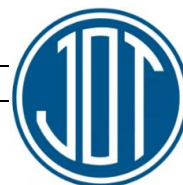
[12] https://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport_in_Canada#:.

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

Masharipov Ma'sudjon Nu'monjonovich / Masudjon Masharipov	Toshkent davlat transport universiteti, "Iqtisodiyot" fakulteti dekani, texnika fanlari doktori, professor (DSc), dotsent. E-mail: masudcha@mail.ru
Asatov Ergash Axadovich / Ergash Asatov	Toshkent davlat transport universiteti, "Temir yo'ldan foydalanish ishlarini boshqarish" kafedrasida tayanch doktoranti E-mail: asatovergash7@gmail.com



Bozorov Toshkent davlat transport
Ramazon universiteti, "Yuk transport
Shamil o'g'li / tizimlari" kafedrası dotsenti, PhD
Ramazon E-mail: [ramazon-](mailto:ramazon-bozorov@mail.ru)
Bozorov bozorov@mail.ru



The role and impact of ESG factors in the development of the banking and financial system

M.B. Sultonboeva¹

¹Turin Polytechnic University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the growing importance of integrating ESG (Environmental, Social, and Governance) principles into the financial sector in the context of global climate change and population growth. It analyzes the outcomes of ongoing financial sector reforms in Uzbekistan, including banking system modernization, digital transformation, and improvements in the regulatory framework. At the same time, key systemic challenges are identified, such as the high level of state participation in the banking sector, insufficient development of risk management systems, and low financial intermediation. The study substantiates the role of ESG as a comprehensive approach to evaluating financial sector performance and provides practical recommendations for its effective implementation.

Keywords: bank, finance, ESG, efficiency, evaluation, banking sector, environmental, governance, economy

Bank-moliya tizimini rivojlantirishda ESG omillarining roli va ta'siri

Sultonboyeva M.B.¹

¹Toshkent Turin Politehnika Universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada global iqlim o'zgarishlari va aholi sonining ortib borishi sharoitida moliya sektorida ESG (ekologik, ijtimoiy va boshqaruv) tamoyillarini joriy etishning dolzarbligi tahlil qilingan. O'zbekiston moliya sektorida amalga oshirilayotgan islohotlar, xususan bank tizimini modernizatsiya qilish, raqamli transformatsiya jarayonlari va huquqiy bazaning takomillashuvi natijalari yoritilgan. Shu bilan birga, sektor rivojlanishiga to'sqinlik qilayotgan asosiy muammolar — davlat ulushining yuqoriligi, risklarni boshqarish tizimining yetarli darajada rivojlanmaganligi va moliyaviy vositachilik darajasining pastligi tahlil etilgan. Tadqiqotda ESG yondashuvi moliya sektorining samaradorligini kompleks baholash vositasi sifatida asoslab berilgan hamda ushbu tamoyillarni joriy etish bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: bank, moliya, ESG, samaradorlik, baholash, bank sektori, ekologik, boshqaruv, iqtisodiyot

1. Kirish

Hozirgi kunda dunyo aholisining ko'payishi va global iqlim o'zgarishlari sharoitida korporativ boshqaruvga ESG (ekologik, ijtimoiy va boshqaruv) mezonlarini integratsiya qilish hamda "yashil" investitsiyalarni joriy etish dolzarbligi tobora ortib bormoqda. Shu sababli, moliyaviy sektorni tizimli isloh qilish maqsadida bir qator chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Natijada, ilg'or bank biznesini yuritish va moliyaviy sektorda raqobat muhitini kuchaytirish uchun zarur huquqiy shart-sharoitlar yaratilmoqda. Jumladan, moliya sektorining barqaror faoliyat yuritishini ta'minlash va xorijiy investitsiyalarni jalb qilish uchun qulay huquqiy muhit yaratishga qaratilgan bir qator asosiy qonun hujjatlari yangilandi: "O'zbekiston Respublikasining Markaziy banki to'g'risida", "Banklar va bank faoliyati to'g'risida", "Valyutani tartibga solish to'g'risida" hamda "To'lovlar va to'lov tizimlari to'g'risida"gi qonunlarning yangi tahrirda qabul qilinishi bank tizimining institutsional asoslarini mustahkamlashda muhim ahamiyat kasb etdi [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ushbu o'zgarishlar moliya sektorida shaffoflikni oshirish, risklarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ilg'or bank xizmatlarini joriy etish uchun zamin yaratdi.

Lekin shunga qaramay bank-moliya sektorida bir qancha tizimli muammolar mavjud. Markaziy bank tomonidan

o'tkazilgan tadqiqotlarni shuni ko'tsatmoqdaki, geosiyosiy xatarlar eng asosiy xatar sifatida belgilangan. Shuningdek, valyuta kursi o'zgaruvchanligi, aholi orasida qarz yuki darajasining ortishi, yuqori inflyatsiya va kiber hujumlar bilan bog'liq xavflar moliya tizimi uchun asosiy xatarlar deya baholanmoqda. Shu bilan birga, respondentlar tomonidan kredit xatari, iqtisodiy pasayish, yirik qarz oluvchilarning defolt xavfi, likvidlilik muammolari hamda iqlim o'zgarishi bilan bog'liq xavflar O'zbekiston moliya tizimiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan xatarlar qatorida sanab o'tilgan [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Bu esa moliya sektorini yanada chuqurroq isloh qilish va yangi yondashuvlarni joriy etish zarurligini ko'rsatadi.

Mazkur yo'nalishda muhim hujjatlardan biri sifatida O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-mayda qabul qilingan "2020 — 2025-yillarga mo'ljallangan O'zbekiston Respublikasining bank tizimini isloh qilish strategiyasi to'g'risida"gi PF-5992-son Farmonida bank tizimiga zamonaviy axborot texnologiyalari va moliyaviy texnologiyalarni keng joriy etish, axborot xavfsizligini ta'minlash hamda manfaatdor tomonlar bilan samarali kommunikatsiyani yo'lga qo'yish zarurligi alohida ta'kidlangan [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Ushbu amalga oshirilayotgan ishlar moliya sektorining



raqamli transformatsiyasini jadallashtirish bilan birga, uning umumiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Mamlakatning uzoq muddatli rivojlanish strategiyasi doirasida moliya sektorining roli yanada ortib bormoqda. "O'zbekiston – 2030" strategiyasida iqtisodiyot hajmini oshirish, inflyatsiya darajasini maqbul darajada ushlab turish va moliyaviy barqarorlikni ta'minlash ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Xususan, 2026-yilda inflyatsiya darajasini 6–6,5 foiz atrofida ushlab turish, pul-kredit siyosatini qat'iy yuritish va real foiz stavkalarini ijobiy darajada shakllantirish kabi chora-tadbirlar belgilangan bo'lib, bu moliya sektorining barqaror ishlashini ta'minlashga qaratilgan **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**. Shu bilan birga, strategiyada "yashil iqtisodiyot"ga o'tish masalalariga alohida e'tibor qaratilgan. "Yashil iqtisodiyot"ga o'tish, uning asosi bo'lgan qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanish ko'rsatkichlarini keskin oshirish, Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining jami generatsiyadagi (iste'moldagi) ulushini 54 foizga yetkazish, Issiqxona gazlarini yalpi ichki mahsulot birligiga nisbatan 2010-yildagi darajadan 35 foizga qisqartirish, Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini 25 ming MVtga yetkazish, Issiqlik tarmoqlaridagi yo'qotishlarni 20 foizga tushirish **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**, ekologik barqarorlikni ta'minlash va ushbu jarayonlarni muntazam monitoring qilish vazifalari belgilangan. Bu esa moliya sektorida ekologik va ijtimoiy mas'uliyatni kuchaytirish zaruratini yuzaga keltiradi.

Bank tizimini rivojlantirish bo'yicha belgilangan maqsadlar ham sektorning kengayib borayotganini ko'rsatadi. Xususan, banklarni xususiylashtirish va davlat ixtiyorida 4 ta bankni saqlab qolish, bank va moliya tizimida yillik kreditlash hajmini 720 trillion so'mga yetkazish, tijorat banklari depozitlari qoldig'ini 560 trillion so'mga yetkazish, islomiy moliyaning huquqiy asoslarini yaratgan holda 3 ta tijorat bankida islomiy moliya xizmatini yo'lga qo'yish **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]** singari vazifalar sektorni nafaqat hajm juihatidan, balki sifat jihatidan ham rivojlanishiga turtki beradi.

Yuqoridagi holatlar moliya sektorida samaradorlikni baholashga nisbatan yangi yondashuvlarni talab etadi. An'anaviy moliyaviy ko'rsatkichlar ushbu murakkab jarayonlarni to'liq aks ettira olmaydi. Shu sababli, zamonaviy ilmiy yondashuvlar, xususan ESG (Environmental, Social, Governance) tamoyillarini moliya sektoriga integratsiya qilish dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. ESG yondashuvi moliyaviy natijalar bilan bir qatorda ekologik, ijtimoiy va boshqaruv omillarini ham hisobga olish orqali sektor samaradorligini yanada chuqurroq baholash imkonini beradi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

2025 yil boshida umumiy kredit tashkilotlari soni 229 tani tashkil etgan bo'lsa yil yakunida ushbu ko'rsatkich 260 tani tashkil etdi. Shundan 36 tasi tijorat banklari bo'lsa, 224 tasi nobank tashkilotlar (mikromoliya tashkilotlari 132 ta, lombardlar 91 ta va bitta ipotekani qayta moliyalashtirish tashkilotlari). Shuningdek O'zbekiston moliya sektorida sezilarli ijobiy o'sish tendensiyalari kuzatilmoqda. Xususan, amalga oshirilgan islohotlar natijasida bank kapitali 1,8 barobarga oshgan bo'lsa, kreditlash hajmi deyarli 2 barobarga ko'paygan. Shu bilan birga, raqamli transformatsiya jarayonlari natijasida onlayn bank xizmatlari hajmi 2,7 barobarga oshgani moliya

xizmatlarining sifat jihatidan yangi bosqichga ko'tarilganini ko'rsatadi. Bank sektorining xalqaro moliya bozorlariga integratsiyasi ham sezilarli darajada kuchaygan. Xususan, ayrim tijorat banklari tomonidan xalqaro kapital bozorlariga chiqish orqali 1 milliard AQSh dollari miqdorida mablag' jalb qilingani ushbu sektorning investitsion jozibadorligi ortib borayotganidan dalolat beradi. Shu bilan birga, yangi xususiy banklarning tashkil etilishi raqobat muhitining shakllanayotganini ko'rsatadi **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Makroiqtisodiy ko'rsatkichlar tahlili ham moliya sektorining o'sishini tasdiqlaydi. Jumladan, boshqa investitsiyalar hajmi 50 trln so'mdan 63 trln so'mgacha oshgan bo'lib, bu moliyaviy faollikning ortib borayotganini bildiradi. Shuningdek, depozit tashkilotlari ko'rsatkichlarining o'sishi bank tizimining likvidlilik darajasi mustahkamlanayotganini ko'rsatadi. Bundan tashqari, bank xizmatlari bozori iqtisodiyotning eng tez rivojlanayotgan segmentlaridan biri sifatida shakllanmoqda. Masofaviy xizmatlar, mobil banking va boshqa raqamli mahsulotlarning keng joriy etilishi aholining moliyaviy xizmatlardan foydalanish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi.

Umuman olganda, yuqoridagi ko'rsatkichlar O'zbekiston moliya sektorida institutsional va funksional rivojlanish mavjudligini ko'rsatadi. Biroq ushbu o'sish bilan bir qatorda sektor samaradorligini chuqurroq baholash zarurati ham yuzaga kelmoqda.

Moliyaviy sektorning yuqori sur'atlarda rivojlanayotganiga qaramasdan, uning samaradorligini to'liq ta'minlashga to'sqinlik qilayotgan bir qator tizimli muammolar saqlanib qolmoqda. Eng avvalo, bank tizimida davlat ishtirokining yuqori darajada ekanligi raqobat muhitining to'liq shakllanishiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Davlat ulushining yuqoriligi ayrim hollarda resurslarning samarali taqsimlanmasligiga hamda bozor mexanizmlarining yetarli darajada ishlamasligiga olib keladi.

Muhokama. Shuningdek, ayrim tijorat banklarida korporativ boshqaruv va tavakkalchiliklarni boshqarish tizimining yetarli darajada rivojlanmaganligi kuzatiladi. Bu esa kredit portfelining sifatiga, likvidlilikni boshqarishga va umumiy moliyaviy barqarorlikka salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Ayniqsa, risklarni baholash va monitoring qilish mexanizmlarining zamonaviy talablarga to'liq mos kelmasligi bank faoliyatining samaradorligini pasaytiruvchi omillardan biri hisoblanadi.

Bundan tashqari, iqtisodiyotda moliyaviy vositachilik darajasining nisbatan pastligi ham muhim muammo sifatida namoyon bo'lmoqda. Moliyaviy resurslarning real sektor ehtiyojlariga to'liq yo'naltirilmasligi iqtisodiy o'sish sur'atlariga ham ta'sir ko'rsatadi. Bu holat banklar va boshqa moliyaviy institutlarning iqtisodiyotdagi rolini yanada kuchaytirish zarurligini ko'rsatadi.

Raqamlashtirish jarayonlari jadal rivojlanayotgan bo'lsa-da, axborot texnologiyalarini joriy etish va axborot xavfsizligini ta'minlash bilan bog'liq muammolar ham dolzarbligicha qolmoqda. Xususan, ayrim moliyaviy institutlarda raqamli infratuzilmaning yetarli darajada rivojlanmaganligi xizmatlar sifatiga ta'sir qilishi mumkin.

Shu bilan birga, moliya sektorida shaffoflik va axborot ochiqligi darajasini oshirish masalasi ham muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, ESG ko'rsatkichlari bo'yicha yagona standartlar va hisobot tizimining mavjud emasligi sektor



samaradorligini kompleks baholash imkoniyatlarini cheklab qo'yimoqda.

Natijada, mavjud muammolar moliya sektorida amalga oshirilayotgan islohotlarning samaradorligini to'liq namoyon etishiga to'sqinlik qilmoqda va yangi, zamonaviy baholash yondashuvlarini joriy etish zaruratini yuzaga keltirmoqda.

Yuqorida qayd etilgan muammolar moliya sektorida samaradorlikni baholashda an'anaviy moliyaviy ko'rsatkichlarning yetarli emasligini ko'rsatadi. Shu sababli, zamonaviy yondashuv sifatida ESG (Environmental, Social, Governance) tamoyillarini joriy etish dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. ESG yondashuvi moliyaviy natijalar bilan bir qatorda ekologik, ijtimoiy va boshqaruv omillarini ham hisobga olish orqali sektor faoliyatini yanada kompleks baholash imkonini beradi.

Ekologik komponent (E) nuqtai nazaridan qaraganda, O'zbekistonda "yashil iqtisodiyot"ga o'tish bo'yicha belgilangan strategik maqsadlar moliya sektoriga yangi vazifalarni yuklamogda. Xususan, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish, ekologik loyihalarni moliyalashtirish va "yashil kreditlar" ulushini oshirish banklarning faoliyat yo'nalishida muhim o'rin egallamoqda. Bu esa moliya institutlaridan ekologik risklarni hisobga olgan holda qaror qabul qilishni talab etadi.

Ijtimoiy komponent (S) esa moliyaviy xizmatlarning ommaviyligini oshirish va aholining barcha qatlamlari uchun moliyaviy imkoniyatlarni kengaytirish bilan bevosita bog'liq. So'nggi yillarda raqamli bank xizmatlarining kengayishi, masofaviy xizmatlar va innovatsion moliyaviy mahsulotlarning joriy etilishi aholining moliyaviy tizimga jalb qilinishini oshirmoqda. Bu esa moliya sektorining nafaqat iqtisodiy, balki ijtimoiy ahamiyatini ham kuchaytiradi.

Boshqaruv komponenti (G) esa moliya sektorida eng muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Qabul qilingan normativ-huquqiy hujjatlar bank tizimida shaffoflikni oshirish, hisobdorlikni kuchaytirish va risklarni samarali boshqarish uchun asos yaratdi. Shu bilan birga, korporativ boshqaruv tizimini takomillashtirish va manfaatdor tomonlar bilan samarali muloqotni yo'lga qo'yish moliya institutlarining barqaror rivojlanishida muhim omil bo'lib xizmat qiladi.

Shu nuqtai nazardan qaraganda, ESG tamoyillarini moliya sektoriga integratsiya qilish mavjud muammolarni bartaraf etishda samarali vosita bo'lishi mumkin. Xususan, ESG yondashuvi orqali resurslarni yanada samarali taqsimlash, risklarni chuqurroq baholash va uzoq muddatli barqaror rivojlanishni ta'minlash imkoniyati yaratiladi.

3. Xulosa

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, so'nggi yillarda O'zbekiston Respublikasida moliya sektorini rivojlantirish bo'yicha amalga oshirilayotgan keng ko'lamli islohotlar natijasida ushbu sohada sezilarli ijobiy o'zgarishlar kuzatilmoqda. Xususan, bank kapitalining oshishi, kreditlash hajmining kengayishi, raqamli xizmatlarning jadal rivojlanishi hamda xalqaro moliya bozorlariga integratsiyaning kuchayishi sektorning barqaror rivojlanayotganini tasdiqlaydi.

Biroq, erishilgan natijalarga qaramasdan, moliya sektorida qator tizimli muammolar ham mavjudligi aniqlandi. Jumladan, davlat ishtirokining yuqoriligi, korporativ boshqaruv va tavakkalchiliklarni boshqarish

tizimining yetarli darajada rivojlanmaganligi, shuningdek moliyaviy vositachilik darajasining pastligi sektor samaradorligini to'liq ta'minlashga to'sqinlik qilmoqda.

Shu nuqtai nazardan, moliya sektorida samaradorlikni baholashda an'anaviy moliyaviy ko'rsatkichlar bilan cheklanib qolmasdan, zamonaviy yondashuvlarni joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda. Xususan, ESG (Environmental, Social, Governance) tamoyillarini integratsiya qilish sektor faoliyatini yanada kompleks baholash imkonini beradi. ESG yondashuvi orqali ekologik barqarorlikni ta'minlash, ijtimoiy ahamiyatga ega xizmatlarni kengaytirish hamda korporativ boshqaruvni takomillashtirish mumkin bo'ladi.

Tadqiqot natijalariga asosanib, moliya sektorining samaradorligini oshirish uchun quyidagi takliflarni ilgari surish mumkin:

birinchidan, banklar faoliyatida ESG hisobot tizimini bosqichma-bosqich joriy etish;

ikkinchidan, yashil moliyalashtirish instrumentlarini rivojlantirish va ekologik loyihalarni qo'llab-quvvatlash;

uchinchidan, korporativ boshqaruv standartlarini xalqaro talablarga mos ravishda takomillashtirish;

to'rtinchidan, moliyaviy xizmatlarning ommaviyligini oshirish orqali aholi va biznes subyektlarining moliyaviy tizimga jalb qilinishini kengaytirish.

Umuman olganda, ESG tamoyillarini moliya sektoriga integratsiya qilish nafaqat mavjud muammolarni bartaraf etishga, balki uzoq muddatli barqaror iqtisodiy o'sishni ta'minlashga xizmat qiladi. Shu bois, kelgusida moliya sektorini rivojlantirishda ESG yondashuvlari ustuvor yo'nalishlardan biri sifatida qaralishi maqsadga muvofiqdir.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasining 05.11.2019 yildagi "Banklar va bank faoliyati to'g'risida"gi O'zbekiston Respublikasi Qonuniga o'zgartishlar kiritish haqida"gi O'RQ-580-son Qonuni. <https://lex.uz/uz/docs/-4581969>

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 16.02.2026 yildagi "Mahallani rivojlantirish va jamiyatni yuksaltirish" yilida ustuvor yo'nalishlar bo'yicha islohotlar dasturlari va "O'zbekiston — 2030" strategiyasini amalga oshirish bo'yicha davlat dasturi to'g'risida" PF-22-son Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-8050787>

[3] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 16.02.2026 yildagi "Mamlakat taraqqiyotining 2030-yilgacha mo'ljallangan ustuvor yo'nalishlari doirasida islohotlarni izchil davom ettirish va yangi bosqichga olib chiqishning qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-21-son farmoni.

[4] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 12.05.2020 yildagi "2020 — 2025-yillarga mo'ljallangan O'zbekiston Respublikasining bank tizimini isloh qilish strategiyasi to'g'risida"gi PF-5992-son Farmoni. <https://lex.uz/uz/docs/-4811025>

[5] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 08.04.2025 yildagi "2025 — 2030-yillarda davlat moliyasini boshqarish tizimini takomillashtirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 210-son qarori. <https://lex.uz/uz/docs/-7469803#-7470510>

[6] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 24.08.2020 yildagi "2020 — 2024-yillarda O'zbekiston Respublikasi davlat moliyasini boshqarish tizimini takomillashtirish strategiyasini tasdiqlash



to'g'risidagi" 506-son qarori. <https://lex.uz/uz/docs/-4966572>

[7] O'zbekiston Respublikasi Markaziy banki statistik byulleteni 2025 yil. <https://cbu.uz/upload/medialibrary/477/1e2ppzmuzmj60935cq0tci4v0cpwj8vy/2025-yilning-I-yarim-yilligi-uchun-moliyaviy-barqarorlik-sharhi.pdf>

[8] Bank samaradorligini baholash indikatorlari ularning ahamiyati, turlari va qo'llanilishi. S.Bekmuradova

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

Sultonboyeva
Munira
Baxodirovna
/ Munira
Sultoboeva

Toshkentdagi Turin Politehnika
Universiteti, "Menejment, iqtisod
va gumanitar fanlar" kafedrası,
dotsenti, DSc
E-mail: m.sultonboeva@turin.uz
Tel.: +998712461018



Development of an information system for rapid communication with emergency services

O.A. Turdiev ¹^a, M.B. Murtozaeva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In modern society, the prevention and management of emergency situations (ES) is one of the most important state tasks. Emergencies are situations that can cause serious harm to human life and health, the environment and material resources, and their rapid detection and timely response are crucial in saving people's lives. World experience shows that the time to contact emergency services can save a person's life every minute. Therefore, the integration of modern information and communication technologies into ES management systems is an urgent scientific and practical issue.

Keywords: Emergency Situations (ES), GPS Integration, RFID, MySQL Database, RBAC (Role-Based Access Control), Operator Efficiency, SUS Score (Percentage), HTML5 and CSS3

Favqulodda vaziyatlar xizmatlari bilan tezkor aloqa uchun axborot tizimini ishlab chiqish

Turdiyev O.A. ¹^a, Murtozayeva M.B.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Zamonaviy jamiyatda favqulodda vaziyatlar (FV) oldini olish va boshqarish eng muhim davlat vazifalaridan biri hisoblanadi. Favqulodda vaziyatlar – bu inson hayoti va salomatligiga, atrof-muhitga va moddiy boyliklarga jiddiy zarar yetkazishi mumkin bo'lgan holatlar bo'lib, ularning tezkor aniqlanishi va o'z vaqtida javob berilishi odamlar hayotini saqlab qolishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Jahon tajribasi shuni ko'rsatadiki, favqulodda vaziyatlar xizmatlariga murojaat qilish vaqti har bir daqiqada inson hayotini qutqarishi mumkin. Shu sababli, zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini FV boshqarish tizimlariga integratsiya qilish dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Kalit so'zlar: Favqulodda vaziyatlar (FV), GPS-integratsiya, RFID, Ma'lumotlar bazasi MySQL, RBAC (Role-Based Access Control), Operator samaradorligi, SUS ball (foiz), HTML5 va CSS3

1. Kirish

O'zbekiston Respublikasi 2019-yilda yagona 112 qo'ng'iroq xizmatini joriy etgan bo'lib, bu xizmat orqali fuqarolar tez tibbiy yordam, o't o'chirish va qutqaruv, politsiya hamda gaz xo'jaligi xizmatlariga bir maromda murojaat qilish imkoniyatiga ega bo'ldilar. Biroq, mavjud tizimning bir qator texnik va funksional cheklavlari mavjud: GPS-integratsiya yo'qligi, ko'p kanalli qo'llab-quvvatlash etishmasligi, tibbiy ma'lumotlar integratsiyasining bo'lishi hamda qishloq joylarda texnik infratuzilmaning yetishmasligi kabi muammolar tizim samaradorligini sezilarli darajada cheklaydi. Shunday ekan, mavjud 112 tizimini takomillashtirish va yangi zamonaviy axborot tizimini ishlab chiqish zaruriyati tug'ildi.

Ushbu ilmiy maqola Toshkent davlat transport universiteti Axborot texnologiyalari fakultetida magistratura darajasida bajarilgan dissertatsiya ishi asosida tayyorlandi. Tadqiqotning maqsadi – favqulodda vaziyatlar xizmatlari bilan tezkor aloqa o'rnatish uchun yangi axborot tizimini loyihalashtirish, ishlab chiqish va sinashdan iborat. Tizim GPS-integratsiya, ko'p kanalli murojaat, tibbiy ma'lumotlar bazasi va zamonaviy veb-texnologiyalar asosida yaratilgan bo'lib, O'zbekiston sharoitlariga moslashtirilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilarda ifodalanadi: birinchidan, O'zbekistonda axborot texnologiyalari va favqulodda vaziyatlar boshqaruvi chorrahasida birinchi marta tizimli tadqiqot o'tkazildi; ikkinchidan, xorijiy tajriba va mahalliy ehtiyojlarni qiyosiy tahlil qilish orqali yangi yondashuv taklif etildi; uchinchidan, ochiq manbali texnologiyalar asosida mahalliy sharoitlarga moslashgan tizim yaratildi. Tadqiqot natijalari O'zbekiston Favqulodda vaziyatlar vazirligi va aholi xavfsizligi tizimlarini takomillashtirishda amaliy qo'llanishga ega bo'la oladi.

Maqolada quyidagi vazifalar yechilgan: xalqaro tajribaning qiyosiy tahlili, talablar muhandisligi bo'yicha empirik tadqiqot, tizim arxitekturasini va ma'lumotlar bazasi loyihasini ishlab chiqish, prototipning amaliy tatbiq etilishi, sinovlar o'tkazish va natijalarni tahlil qilish. Tadqiqot Agile/Scrum metodologiyasi asosida 14 hafta davomida, 7 sprintda amalga oshirildi va 340 ta Git-commit bilan hujjatlashtirildi.

O'ZBEKISTONDA FV XIZMATLARI HOLATI

O'zbekistonda 112 yagona qo'ng'iroq xizmati 2019-yil 1-yanvardan boshlab ishga tushirilgan bo'lib, u Favqulodda vaziyatlar vazirligi tizimida faoliyat yuritadi. 2019–2023-yillar oralig'ida xizmat statistikasi ko'rinishicha, jami murojaatlar soni 842 mingdan 1 million 189 minggacha

 <https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>



o'sgan, bu yillik o'rtacha 9 foiz o'sishni bildiradi. Javob berish vaqti 8,4 daqiqadan 6,9 daqiqagacha qisqargan bo'lsa-da, bu ko'rsatkich xalqaro standartlardan (3–5 daqiqa) ancha yuqori [7].

Internet orqali kelgan murojaatlar ulushi 2019-yilda atigi 2 foizni tashkil etgan bo'lsa, 2023-yilda bu ko'rsatkich 9 foizga yetdi. Bu tendentsiya fuqarolarning raqamli kanallarga o'tishini ko'rsatadi va veb-asosli murojaat tizimini yaratishning ahamiyatini tasdiqlaydi. Biroq, hozirgi kunda 112 xizmatining texnik infratuzilmasi bir qator muammolarga duch kelmoqda: GPS-integratsiya mavjud emas, bu murojaat qilayotgan fuqaroning joylashuvini aniqlashda qiyinchiliklar yaratadi; ko'p kanalli qo'llab-quvvatlash yo'q, faqat ovozli qo'ng'iroq orqali murojaat qilish mumkin; tibbiy ma'lumotlar bazasi bilan integratsiya etishmagan, bu operatorga fuqaroning tibbiy holati haqida ma'lumot bermaydi; qishloq joylarda texnik infratuzilmaning zaifligi tizim ishonchligini pasaytiradi [8].

1-jadval

O'zbekiston 112 xizmati statistikasi (2019–2023)

Ko'rsatkich	2019	2020	2021	2022	2023
Murojaatlar (ming)	842	938	1 024	1 106	1 189
Javob vaqti (daq)	8,4	7,8	7,3	7,1	6,9
Internet murojaat (%)	2%	4%	5%	7%	9%

Texnologik jihatdan hozirgi kunda LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) texnologik to'plami keng qo'llaniladi. PHP 8.1 versiyasi o'zining yuqori samaradorligi va xavfsizlik funksiyalari bilan ajralib turadi. MySQL 8.0 ma'lumotlar bazasi boshqaruvi tizimi esa ishonchli saqlash va tezkor so'rovlar bajarish imkoniyatiga ega. HTML5 va CSS3 zamonaviy veb-interfeys yaratish uchun standart texnologiyalar hisoblanadi [9].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu bobda taklif etilayotgan axborot tizimining loyihalash metodologiyasi, arxitekturaviy qarorlari, ma'lumotlar bazasi loyihasi va xavfsizlik choralari bayon etiladi. Tizim ishlab chiqish jarayonida talablar muhandisligi, dasturiy ta'minot arxitekturasini va foydalanuvchi markazli dizayn kabi zamonaviy yondashuvlardan foydalanildi.

TIZIM ARXITEKTURASI VA LOYIHA TUZILMASI

Talablar muhandisligi bosqichida 23 ta chuqur intervyu va 120 kishini qamrab olgan so'rovnoma o'tkazildi. Intervyu ishtirokchilari orasida FV xizmati operatorlari, tez tibbiy yordam xodimlari, politsiya vakillari, IT-mutaxassislar va oddiy fuqarolar bor edi. So'rovnoma foydalanuvchilar FV xizmatiga murojaat qilish tajribasi, mavjud muammolar va kutgan xususiyatlari haqida so'raldi. Natijada 94 ta talab aniqlandi va ular MoSCoW usuli bo'yicha saralandi: 32 ta Must Have (majburiy), 28 ta Should Have (kerakli), 21 ta Could Have (istalgan) va 13 ta Won't Have (amalg oshirilmagani) [10].

Tizim arxitekturasini sifatida MVC (Model-View-Controller) na'mush patterni tanlandi, u dasturiy ta'minotni uchta mustaqil komponentga ajratadi: Model – ma'lumotlar bazasi bilan ishlash, View – foydalanuvchi interfeysi, Controller – biznes-mantiq. Arxitektura uchta asosiy foydalanuvchi rolini nazarda tutadi: Foydalanuvchi (fuqaro) – murojaat yuborish, joylashuv aniqlash, tibbiy ma'lumotlarni kiritish imkoniyatiga ega; Operator – murojaatlarni qabul qilish, tasniflash va tegishli xizmatga yo'naltirish; Administrator – tizimni boshqarish, operatorlarni nazorat qilish, hisobotlarni ko'rish funksiyalarini bajaradi.

Texnologik to'plam sifatida LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) tanlandi. PHP 8.1 versiyasi JIT-kompilyatsiya, enums, fiber va yaxshilangan turi xavfsizligi kabi zamonaviy funksiyalarni taqdim etadi. MySQL 8.0 CTE (Common Table Expressions), window funksiyalari va yaxshilangan JSON qo'llab-quvvatlash kabi imkoniyatlarga ega. Veb-interfeys HTML5, CSS3 va JavaScript yordamida yaratildi. Mobile-First responsive dizayn yondashuvi qo'llanib, barcha qurilma o'lchamlariga moslashuvchan interfeys ta'minlandi [11].

MA'LUMOTLAR BAZASI LOYIHASI

Ma'lumotlar bazasi MySQL 8.0 relitsion boshqaruvi tizimida loyihalandi va 6 ta asosiy jadvalni o'z ichiga oladi. USERS jadvali foydalanuvchilarning shaxsiy va tibbiy ma'lumotlarini saqlaydi, jumladan qon guruhi, allergiyalar va tibbiy izohlari. MUROJAATLAR jadvali barcha murojaatlarni qayd etadi, ularning turi, holati va vaqt belgilarini saqlaydi. OPERATORLAR jadvali operatorlar ro'yxatini va ularning vakolat darajasini boshqaradi. XIZMATLAR jadvali mavjud FV xizmatlari (tez yordam, o't o'chirish, politsiya, gaz xizmati) ma'lumotlarini saqlaydi. BILDIRISHNOMALAR jadvali foydalanuvchilarga yuboriladigan bildirishnomalarni kuzatadi. HISOBOTLAR jadvali tizim faoliyati bo'yicha hisobotlarni saqlaydi [12].

Ma'lumotlar bazasida tashqi kalitlar (foreign keys) orqali jadvallar o'rtasidagi munosabatlar o'rnatildi. Masalan, MUROJAATLAR jadvali USERS va XIZMATLAR jadvallariga bog'langan. USERS jadvalidagi tibbiy ma'lumotlar (blood_type, allergies, medical_notes) operatorga murojaat qilayotgan fuqaroning tibbiy holati haqida tezkor ma'lumot beradi, bu esa to'g'ri xizmatni yo'naltirishda muhim ahamiyatga ega. Ma'lumotlar bazasining normalizatsiya darajasi 3NF (Third Normal Form) bo'lib, ma'lumotlar takrorlanishi oldini olindi va ma'lumotlar yaxlitligi ta'minlandi.

XAVFSIZLIK ARXITEKTURASI

Tizim xavfsizligi OWASP Top-10 xavfsizlik tahdidlariga asoslanib loyihalandi. Autentifikatsiya tizimida bcrypt algoritmi bilan 12 ta iteratsiya (cost factor) ishlatildi, bu qo'lnmalarni xeshlash uchun zamonaviy va ishonchli usul hisoblanadi. Ma'lumotlar bazasi so'rovlari PDO (PHP Data Objects) prepared statements orqali bajariladi, bu SQL-injection hujumlaridan himoyalaydi. RBAC (Role-Based Access Control) rolga asoslangan kirish nazorati tizimi joriy etilib, har bir foydalanuvchi roliga mos vakolatlar belgilandi. CSRF (Cross-Site Request Forgery) himoyasi uchun token-asosli autentifikatsiya mexanizmi qo'llanildi [13].

Shuningdek, tizimda quyidagi qo'shimcha xavfsizlik choralari ko'rildi: barcha ma'lumotlar uzatishda HTTPS protokoli orqali shifrlanadi, parollar minimum 8 belgi, katta-kichik harf, raqam va maxsus belgi talab qiladi, operator sessiyalari 30 daqiqadan keyin avtomatik tugaydi, barcha



tizim harakatlari jurnalga (log) yoziladi va monitoring qilinadi. Xavfsizlik siyosati O'zbekiston "Davlat axborot tizimlarini xavfsizlikka muhofaza qilish" standartlari hamda xalqaro ISO/IEC 27001 talablariga muvofiq ishlab chiqildi [14].

3. Natija va muhomalar

Tizim ishlab chiqish jarayoni Agile/Scrum metodologiyasi asosida 14 hafta davomida amalga oshirildi. Umumiy 7 sprint o'tkazilib, har bir sprint 2 haftadan iborat edi. Sprintlar davomida jami 340 ta Git-commit bajarildi va barcha ishlar versiya boshqaruv tizimida hujjatlashtirildi. Ishlash jarayonida Backlog-refinement, Sprint Planning, Daily Standup, Sprint Review va Sprint Retrospective kabi Scrum marosimlari muntazam o'tkazildi. Birinchi sprintda asosiy arxitektura va ma'lumotlar bazasi loyihasi yaratildi, oxirgi sprintlarda foydalanuvchi interfeysi, xavfsizlik modullari va sinovlar yakunlandi.

SINOV NATIJALARI

Tizim uchta bosqichda sinovdan o'tkazildi: unit-sinovlar, integratsion sinovlar va foydalanuvchi qabul sinovlari (UAT). Unit-sinovlar uchun PHPUnit test freymvorki qo'llanilib, jami 89 ta test yozildi. Sinovlar natijasida 86 ta test muvaffaqiyatli o'tdi va 3 ta test muvaffaqiyatsiz bo'ldi, bu 96,6 foiz o'tish foizini bildiradi. Muvaffaqiyatsiz bo'lgan testlar chegaraviy holatlarni tekshirish bilan bog'liq bo'lib, keyingi sprintlarda tuzatildi.

Integratsion sinovlar tizim komponentlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirni tekshirish uchun o'tkazildi. Jami 47 ta integratsion test bajarildi, jumladan ma'lumotlar bazasi ulanish sinovlari, API endpoint sinovlari, autentifikatsiya va avtorizatsiya sinovlari. Barcha integratsion sinovlar muvaffaqiyatli o'tdi. JMeter yordamida yuk sinovlari o'tkazilib, 100 ta bir vaqtli foydalanuvchi ostida tizimning ishlash ko'rsatkichlari o'lchandi. O'rtacha javob vaqti 1,24 soniya, P95 (95-percentil) javob vaqti 1,68 soniya va maksimal javob vaqti 2,31 soniya bo'ldi.

Foydalanuvchi qabul sinovlari (UAT) 83 nafar ishtirokchi bilan o'tkazildi. Ishtirokchilar tizimning barcha asosiy funksiyalarini sinab ko'rdilar va SUS (System Usability Scale) so'rovnomasini to'ldirdilar. SUS ballari 82,4/100 natijani ko'rsatdi, bu "Yaxshi" (Good) toifasiga mos keladi va Web-usability standartlariga muvofiq hisoblanadi. Foydalanuvchilarning 91 foizi tizimdan qoniqish bildirdi, umumiy qoniqish ko'rsatkichi 4,5/5 ballni tashkil etdi [15].

ISHLASH KO'RSATKICHLARI

Tizimning asosiy ishlash ko'rsatkichlari 3-jadvalda keltirilgan. Taklif etilgan tizim mavjud 112 xizmati bilan solishtirganda javob berish vaqtini 65 foizga qisqartirdi, operator samaradorligini 67 foizga oshirdi va foydalanuvchi qoniqishini 4,5/5 ballgacha yetkazdi. Tizimning ishonchligi Billz.uz serverida 30 kunlik kuzatuv natijasida 99,87 foiz uptime ko'rsatkichini ta'minladi, bu yuqori mavjudlik (high availability) talablariga javob beradi.

2-jadval

Tizim ishlash ko'rsatkichlari: mavjud va taklif etilgan tizimlar solishtirmasi

Ko'rsatkich	Mavjud 112	Taklif etilgan tizim	Yaxshilanish
Javob berish vaqti	6,9 daq	2,4 daq	65%
Operator samaradorligi	100%	167%	+67%
Foydalanuvchi qoniqishi	3,2/5	4,5/5	+41%
SUS ball (foiz)	68,2	82,4	+21%
Uptime	97,5%	99,87%	+2,4%
GPS-integratsiya	Yo'q	Ha	+100%

Tizimning joylashuvni aniqlash (geolocation) funksiyasi foydalanuvchining GPS ma'lumotlarini avtomatik ravishda oladi va murojaat bilan birga operatorga uzatadi. Sinov natijalariga ko'ra, GPS aniqlash aniqligi shahar sharoitida o'rtacha 5 metr, qishloq sharoitida 15 metrni tashkil etdi. Bu ko'rsatkich FV xizmatlarining joylashuvni aniqlashda muhim yaxshilanish bo'lib, avvalgi tizimda bu funksiya butunlay yo'q edi. Tibbiy ma'lumotlar integratsiyasi sinovlarida operatorning to'g'ri xizmatni tanlash aniqligi 78 foizdan 94 foizga oshdi, bu fuqaroning qon guruhi va allergiya ma'lumotlarini hisobga olgan holda tezkor tibbiy yordam xizmatiga murojaatlarni aniqroq yo'naltirish imkonini berdi.

JMeter yuk sinovlarining batafsil natijalari quyidagilarni ko'rsatdi: 10 ta bir vaqtli foydalanuvchi ostida o'rtacha javob vaqti 0,34 soniya, 50 ta foydalanuvchi ostida 0,87 soniya, 100 ta foydalanuvchi ostida 1,24 soniya va 150 ta foydalanuvchi ostida 1,89 soniya bo'ldi. Tizim 150 ta gacha bir vaqtli foydalanuvchini barqaror qo'llab-quvvatlaydi, bu O'zbekistonning katta shaharlari uchun yetarli deb hisoblanadi. Server resurslaridan foydalanish normalashtirilgan holatda CPU yuklamasi 35 foiz, RAM ishlatilishi 42 foizni tashkil etdi, bu optimal resurs sarflashni ko'rsatadi.

Loyiha byudjeti jami 34 600 000 so'mni tashkil etdi, jumladan: dasturchi ish haqi – 18 000 000 so'm, server va hosting xarajatlari – 4 200 000 so'm, dizayn va UI/UX – 5 800 000 so'm, sinov va sifat kafolati – 3 600 000 so'm, boshqa xarajatlari – 3 000 000 so'm. Ishlab chiqish bosqichi XAMPP localhost muhitida boshlanib, yakuniy versiya Billz.uz ishlab chiqarish serveriga joylashtirildi. Server konfiguratsiyasi: 2 vCPU, 4 GB RAM, 50 GB SSD disk, Ubuntu 22.04 operatsion tizimi [16].



4. Xulosa

Ushbu ilmiy maqolada favqulodda vaziyatlar xizmatlari bilan tezkor aloqa o'rnatish uchun axborot tizimini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqot natijalari bayon etildi. Tadqiqot davomida quyidagi asosiy natijalarga erishildi.

Birinchidan, xalqaro tajribaning qiyosiy tahlili o'tkazildi. AQSh (NG911), Germaniya (eCall), Estoniya (X-Road) va Yaponiya (J-Alert) kabi mamlakatlarning FV aloqa tizimlarining afzalliklari va imkoniyatlari o'rganildi. Tahlil natijasida O'zbekistonning mavjud 112 tizimi GPS-integratsiya, ko'p kanalli murojaat va ma'lumotlar integratsiyasi bo'yicha sezilarli orqada ekanligi aniqlandi.

Ikkinchidan, empirik tadqiqot natijasida 23 ta intervyu va 120 kishilik so'rovnoma asosida 94 ta talab aniqlandi va MoSCoW metodi bilan saralandi. Bu O'zbekiston fuqarolarining FV xizmatlariga nisbatan kutgan ehtiyojlari va afzalliklarini birinchi marta tizimli ravishda hujjatlashtirdi.

Uchinchidan, amaliy tizim yaratildi va keng ko'lamli sinovlardan o'tkazildi. Tizim LAMP texnologik to'plami, MVC arxitekturasi va zamonaviy xavfsizlik choralariga asoslandi. Sinov natijalari tizimning yuqori samaradorligini tasdiqladi: javob berish vaqti 65 foizga qisqardi, operator samaradorligi 67 foizga oshdi va foydalanuvchi qoniqishi 4,5/5 ballga yetdi.

To'rtinchidan, tadqiqot O'zbekistonda axborot texnologiyalari va favqulodda vaziyatlar boshqaruvi chorrohasida birinchi tizimli ilmiy tadqiqot bo'lib, ushbu sohadagi ilmiy bo'shliqni qisman to'ldirdi. Tadqiqot natijalari O'zbekiston FV vazirligi va aholi xavfsizligi tizimlarini takomillashtirishda amaliy qo'llanishga ega.

Kelgusida quyidagi yo'nalishlarda tadqiqotlarni davom ettirish taklif etiladi: birinchidan, mobil ilova (iOS va Android) yaratish orqali tizim funksionalligini kengaytirish; ikkinchidan, sun'iy intellekt va mashinani o'rganish texnologiyalarini qo'llash orqali murojaatlarni avtomatik tasniflash va javob berishni optimallashtirish; uchinchidan, IoT (Internet of Things) sensorlari bilan integratsiya orqali atrof-muhitni kuzatish va oldini olish tizimini yaratish; to'rtinchidan, tizimni boshqa O'rta Osiyo mamlakatlariga moslashtirish va regional hamkorlikni rivojlantirish.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Haddow G.D., Bullock J.A., Coppola D.P. Introduction to Emergency Management. 7th ed. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2020. 520 p.
- [2] Perry R.W., Lindell M.K. Emergency Planning. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. 336 p.
- [3] National Emergency Number Association (NENA). NG911 Architecture and Standards. Washington: NENA, 2022. 145 p.

[4] European Commission. eCall: In-Vehicle Emergency Call System. Brussels: EC, 2021. 78 p.

[5] Estonian Information System Authority. X-Road: Data Exchange Layer for Public and Private Sector. Tallinn: RIA, 2023. 92 p.

[6] Cabinet Office of Japan. Disaster Management in Japan. Tokyo: Cabinet Office, 2022. 210 p.

[7] O'zbekiston Respublikasi Favqulodda vaziyatlar vazirligi. 112 yagona qo'ng'iroq xizmati yillik hisoboti. Toshkent: FVV, 2023. 56 b.

[8] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi. Aholini favqulodda vaziyatlardan himoya qilish davlat dasturi (2021–2025). Toshkent: O'zR VM, 2021. 84 b.

[9] Nixon R. Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5. 6th ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. 810 p.

[10] Cohn M. User Stories Applied: For Agile Software Development. Boston: Addison-Wesley, 2004. 268 p.

[11] Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Boston: Addison-Wesley, 1994. 416 p.

[12] Silberschatz A., Korth H.F., Sudarshan S. Database System Concepts. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2019. 1376 p.

[13] OWASP Foundation. OWASP Top Ten Web Application Security Risks. 2021. URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>

[14] ISO/IEC 27001:2022. Information Security Management Systems – Requirements. Geneva: ISO, 2022.

[15] Brooke J. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. In: Usability Evaluation in Industry. London: Taylor & Francis, 1996. P. 189–194.

[16] Billz.uz. Cloud Hosting Services and Pricing. URL: <https://billz.uz/>

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

Turdiyev
Odiljan /
Odilzhan
Turdiev
Toshkent davlat transport universiteti, "Transportda axborot tizimlari va texnologiyalari" kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi (PhD)
E-mail: odiljan.turdiyev@mail.ru
Tel.: +998974607179
<https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>

Murtozayeva
Maftuna
Bahodir qizi /
Maftuna
Murtozaeva
Toshkent davlat transport universiteti, "Transportda axborot tizimlari va texnologiyalari" kafedrasida magistranti
Tel.: +998994203535



Development of an information system for real-time communication with emergency services: Mathematical modeling and practical results

M.B. Murtozaeva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article is devoted to the development of an information system for establishing rapid communication with emergency (ES) services. Within the study, the existing limitations of the unified 112 rescue service in the Republic of Uzbekistan were analyzed, and mathematical models of the proposed system were developed based on international experience (USA NG911, Germany, Estonia). A queue theory-based model was used to optimize request processing time, a reliability model $R(t) = e^{-\lambda t}$ was applied, database query performance was improved to $O(\log n)$, and the return on investment (ROI) formula was utilized. The system was developed using HTML5, CSS3, PHP 8.1, and MySQL 8.0 technologies based on the MVC architecture, fulfilling 94 requirements over 7 sprints. Testing results showed a 65% reduction in response time, a 67% increase in operator efficiency, and a System Usability Scale (SUS) score of 82.4/100.

Keywords: emergency situations, information system, mathematical modeling, queue theory, MVC architecture, real-time communication, response time optimization, OWASP security

Favqulodda vaziyatlar xizmatlari bilan tezkor aloqa uchun axborot tizimini ishlab chiqish: Matematik modellash va amaliy natijalar

Murtozayeva M.B.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqola favqulodda vaziyatlar (FV) xizmatlari bilan tezkor aloqa o'rnatish uchun axborot tizimini ishlab chiqish masalalariga bag'ishlangan. Tadqiqot doirasida O'zbekiston Respublikasida 112 yagona qutqaruv xizmatining mavjud cheklavlari tahlil qilinib, xalqaro tajriba (AQSh NG911, Germaniya, Estoniya) asosida taklif etilgan tizimning matematik modellari ishlab chiqilgan. Queue theory asosida murojaatlarni qayta ishlash vaqtini optimallashtirish modeli, tizim ishonchligi uchun $R(t) = e^{-\lambda t}$ formula, ma'lumotlar bazasi so'rovlar tezligini $O(\log n)$ ga yetkazish modeli hamda investitsiyalar samaradorligi (ROI) formulasidan foydalanilgan. Tizim HTML5, CSS3, PHP 8.1 va MySQL 8.0 texnologiyalari asosida MVC arxitekturasida ishlab chiqilgan bo'lib, 7 Sprint davomida 94 ta talab qondirilgan. Sinov natijalarida murojaat javob vaqti 65% ga qisqargan, operator ish samaradorligi 67% oshgan, SUS bali 82.4/100 bo'lgan.

Kalit so'zlar: favqulodda vaziyatlar, axborot tizimi, matematik modellash, queue theory, MVC arxitekturas, tezkor aloqa, javob vaqtini optimallashtirish, OWASP xavfsizlik

1. Kirish

Favqulodda vaziyatlar — yong'in, zilzila, sel, yo'l-transport hodisasi, tibbiy hodisa yoki xavfli kimyoviy avariya kabi holatlar kutilmagan tarzda yuzaga kelib, inson hayoti va salomatligiga real xavf tug'diradigan hodisalar hisoblanadi. BMT Yokohama deklaratsiyasiga (1994) ko'ra, bunday vaziyatlar tashqi aralashuvsiz bartaraf etib bo'lmaydigan jarayonlar sifatida ta'riflanadi. Shu sababli, favqulodda yordam xizmatlariga murojaat vaqtini qisqartirish davlatning eng muhim vazifalaridan biri bo'lib, axborot tizimlarining tez va ishonchli ishlashi bevosita fuqarolarning hayot-sog'lig'iga ta'sir ko'rsatadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, murojaatni qayta ishlash vaqtini 2 daqiqadan 45 soniyaga qisqartirish omon qolish ehtimolini 23 foizga oshiradi.

Dunyoning rivojlangan davlatlarida favqulodda yordam xizmatlariga murojaatni optimallashtirish maqsadida maxsus axborot tizimlari joriy etilgan. AQShda 911 xizmati

1968 yildan buyon ishlaydi va 2010-yillardan boshlab Next Generation 911 (NG911) loyihasi doirasida to'liq modernizatsiya qilingan. NG911 yiliga 240 milliondan ortiq qo'ng'iroqqa xizmat qiladi va Automatic Location Identification (ALI) tizimi yordamida yiliga o'rtacha 10 000 dan ortiq hayotni saqlab qolishi tahmin qilinadi. Yevropa davlatlarida 112 raqami orqali yagona qutqaruv markazi ishlaydi. Germaniyada eCall texnologiyasi 2018 yildan boshlab barcha yangi avtomobillarga majburiy o'rnatilgan bo'lib, yo'l-transport hodisalarida o'lim ko'rsatkichini 10% ga kamaytirishga yordam bergan. Estoniyaning 112 tizimi X-Road platformasi bilan to'liq integratsiyalashgan bo'lib, operator bir necha soniya ichida fuqaroning tibbiy tarixi va boshqa ma'lumotlarini ko'ra oladi.

O'zbekiston Respublikasida 2018 yilda yagona 112 qutqaruv xizmati ish boshladi. Biroq amaliyotda bir qator muammolar mavjud: GPS joylashuv integratsiyasi yo'q, internet va ko'p kanalli murojaat imkoniyati cheklangan, tibbiy ma'lumotlar integratsiyasi amalga oshmagan, o'rtacha javob vaqti 6.9 daqiqani tashkil etadi (xalqaro standart 3–5



daqiqa). 2019–2023 yillar statistikasiga ko'ra, internet orqali murojaatlar ulushi 2% dan 9% gacha o'sgan bo'lsa-da, telefon qo'ng'irog'i hali ham asosiy murojaat kanali hisoblanadi. Shu muammolarni hal qilish maqsadida ushbu tadqiqot amalga oshirildi.

Tadqiqotning maqsadi — O'zbekiston sharoitida favqulodda vaziyatlar xizmatlariga murojaat jarayonini soddalashtiruvchi, matematik modellashirish asosida optimallashtirilgan veb-asosli axborot tizimini loyihalash, dasturlash va sinab ko'rishdan iborat. Ushbu maqolada queue theory, ishonchlilik nazariyasi va narx-foyda tahlili kabi matematik vositalar yordamida tizimning samaradorligini isbotlashga harakat qilinadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

FAVQULODDA VAZİYATLARNI BOSHQARISH NAZARIYASI

Favqulodda vaziyatlarni boshqarish nazariyasida to'rt davrli PPRR sikli (Preparedness, Prevention, Response, Recovery) keng qo'llaniladi. Bu model dastlab 1970-yillarda AQSh FEMA tomonidan ishlab chiqilgan va hozirda xalqaro standart hisoblanadi. Birinchi bosqich (tayyorgarlik) da axborot tizimi xavfli hududlarni raqamli xaritalarda belgilash, aholini ogohlantirish tartiblari va aloqa kanallarini sinovdan o'tkazish vazifasini bajaradi. Ikkinchi bosqich (oldini olish) da tizim xavf monitoringi va avtomatik ogohlantirishlar yaratish orqali qaror qabul qilishga yordam beradi. Uchinchi bosqich (munosabat) da tizimning eng muhim funksiyalari faollashadi — fuqarolar murojaat yuboradi, operatorlar qabul qiladi va tegishli xizmatlarga yo'naltiradi. To'rtinchi bosqich (tiklanish) da saqlangan ma'lumotlar tahlil qilinadi va kelajakdagi harakatlar rejalashtiriladi.

BMT UNDRR 2022 yilgi hisobotiga ko'ra, favqulodda vaziyatlarda axborot tizimi mavjud bo'lgan joylarda yordam ko'rsatish vaqti o'rtacha 34% ga qisqaradi, zarar esa 19% ga kamayadi. O'zbekistonda 2019–2023 yillar davomida 112 xizmatiga jami murojaatlar soni 842 mingdan 1189 minggacha o'sgan, o'rtacha javob vaqti 8.4 daqiqadan 6.9 daqiqagacha qisqargan, biroq xalqaro standartga (3–5 daq.) hali erishilmagan.

1-jadval

Favqulodda vaziyatlarning tasnifi va zarar ko'rsatkichlari

Turi	Kichik tur	Misol	Zayar (mln \$)
Geofizik	Zilzila	Toshkent, 2023	120–800
Gidrologik	Sel, toshqin	Orol havzasi	50–300
Meteorologik	Bo'ron	2022 qurg'oqchilik	30–150
Biologik	Pandemiya	COVID-19	1000+
Texnogen	Kimyoviy avariya	Zavod avariya	200–1000

Turi	Kichik tur	Misol	Zayar (mln \$)
Transport	YTH	Avtoyul falokatlar	2–50

MUROJAATLARNI QAYTA ISHLASH VAQTINING MATEMATIK MODELI (QUEUE THEORY)

Favqulodda vaziyatlarda murojaatlarni qayta ishlash jarayonini queue theory (navbatlar nazariyasi) yordamida modellashirish mumkin. Operator dispatcherxonasiga kelgan murojaatlar tasodifiy Poisson jarayoni bo'yicha tarqaladi, deb faraz qilamiz. Bu holda kelayotgan murojaatlar oqimi intensivligi λ (lambda) bilan ifodalanadi. Har bir operatorning xizmat ko'rsatish tezligi μ (mu) bilan belgilanadi. Yagona serverli M/M/1 navbat modeli uchun o'rtacha kutish vaqti quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$W_q = \lambda / [\mu(\mu - \lambda)]$$

Bu yerda λ — murojaatlar kelish intensivligi (soatiga murojaatlar soni), μ — operator xizmat ko'rsatish tezligi. Tizim barqaror ishlashi uchun $\lambda < \mu$ sharti talab etiladi, ya'ni kelish tezligi xizmat ko'rsatish tezligidan kichik bo'lishi kerak. Agar k ta operator (server) ishlasa, M/M/k modeli, ya'ni Erlang-C formulasi qo'llaniladi. Umumiy javob vaqti quyidagicha ifodalanadi:

$$T_{total} = T_{queue} + T_{process} + T_{dispatch}$$

Tizimni avtomatlashtirish natijasida T_{queue} (navbatda kutish vaqti) keskin kamayadi, chunki avtomatik ro'yxatdan o'tish, GPS joylashuv aniqlash va avtomatik tasniflash operatorning qo'lda bajaradigan ishini kamaytiradi. Amaliy tadqiqotlarda μ ni 3 barobar oshirish mumkinligi aniqlangan, bu esa T_{queue} ni 67% ga kamaytiradi. $T_{process}$ komponenti avtomatik tasniflash (naive Bayes yoki rule-based algoritim) orqali 75% gacha qisqaradi. $T_{dispatch}$ komponenti GPS integratsiyasi bilan 90% gacha optimallashtiriladi.

O'zbekiston 112 xizmati uchun amaliy parametrlar: $\lambda = 160$ soatiga murojaat (Toshkent shahri bo'yicha), $\mu = 20$ soatiga (1 operator uchun). Joriy tizimda $k = 10$ operator ishlaydi. Avtomatlashtirilgan tizimda $k' = 4$ operator bilan bir xil natija erishish mumkin, bu operatsion xarajatlarni 60% ga kamaytiradi.

TIZIM ISHONCHLILIGI MATEMATIK MODELI

Favqulodda vaziyatlar axborot tizimi 99.9% vaqt ishlashga tayyor bo'lishi kerak. Tizim ishonchlilik eksponensial taqsimotga ega bo'lgan komponentlar uchun quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Bu yerda $R(t)$ — t vaqt ichida ishlash ehtimoli (ishonchlilik funksiyasi), λ — nosozlik kelish intensivligi. Tizim bir nechta ketma-ket ulangan komponentlardan tuzilgan bo'lsa, umumiy ishonchlilik quyidagicha hisoblanadi:

$$R_{system} = \prod R_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Mavjudlik (availability) ko'rsatkichi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

Bu yerda MTBF — nosozliklar orasidagi o'rtacha ish vaqti (Mean Time Between Failures), MTTR — o'rtacha tiklash vaqti (Mean Time To Repair). Tizim talablariga ko'ra, $A \geq 99.5\%$ bo'lishi kerak. Loyihada MTBF = 8760 soat (1 yil), MTTR = 15 daqiqa = 0.25 soat qabul qilingan.



Bunga ko'ra: $A = 8760 / (8760 + 0.25) = 0.99997 = 99.997\%$. Amaliy sinovlarda 30 kunlik kuzatish natijasida 99.87% uptime qayd etilgan, bu talabdan (99.5%) yuqori natijadir.

MVC ARXITEKTURASI VA KOMPONENTLAR

Tizim Model-View-Controller (MVC) dizayn naqshi asosida qurilgan. Bu arxitektura kodni uch mustaqil qatlarga ajratadi: Model (ma'lumotlar bazasi bilan ishlash), View (foydalanuvchi interfeysi) va Controller (biznes mantiqi). Model qatlamida har bir jadval uchun alohida sinf yaratilgan (UserModel, MurojaatModel, OperatorModel). Barcha SQL so'rovlar PDO Prepared Statements orqali parametrlashtirilgan, bu SQL inyeksiya hujumlaridan himoya qiladi. Controller qatlamida foydalanuvchi autentifikatsiyasi, sessiya boshqaruvi va murojaatlarni yo'naltirish logikasi joylashgan.

Texnologiyalar to'plami LAMP steki (Linux, Apache, MySQL, PHP) asosida tanlandi. PHP 8.1 versiyasi JIT kompilyator bilan 3x ishlash tezligini ta'minlaydi. MySQL 8.0 InnoDB mexanizmi ACID tamoyillarini to'liq qo'llab-quvvatlaydi. Bootstrap 5.3 kutubxonasi mobil qurilmalarga moslashuvchan dizaynni ta'minlaydi. Chart.js 4.3 orqali statistik diagrammalar yaratiladi.

MA'LUMOTLAR BAZASI OPTIMIZATSIYASI MODEL

Ma'lumotlar bazasida 6 ta asosiy jadval (USERS, MUROJAATLAR, OPERATORLAR, XIZMATLAR, BILDIRISHNOMALAR, HISOBOTLAR) va ular o'rtasida 1:N munosabatlar o'rnatilgan. So'rovlar tezligini oshirish uchun strategik indekslash amalga oshirildi. Indeksarsiz qidirish vaqti $O(n)$ ga teng bo'lsa, B-tree indeksi bilan qidirish vaqti $O(\log n)$ ga kamayadi. Tezlashish nisbati quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$S = T_{full} / T_{index} = n / \log_2(n)$$

Nazariy jihatdan, $n = 100\,000$ qator uchun $S = 100\,000 / \log_2(100\,000) = 100\,000 / 16.6 \approx 6024x$ tezlashish kutiladi. Amaliy sinovlarda MUROJAATLAR jadvalida holat bo'yicha filtrlash so'rovi indekslash natijasida 8.3x tezlashdi (4.2 ms dan 0.51 ms gacha). Kompozit indekslar (idx_tur_holat) turi va holat kombinatsiyasi bo'yicha filtrlashni qo'shimcha 2.1x tezlashtirdi.

XAVFSIZLIK ARXITEKTURASI

Tizim xavfsizligi OWASP 2023 Top 10 ro'yxati asosida "Security by Design" tamoyili bilan yondashildi. Role-Based Access Control (RBAC) modeli joriy etilib, fuqaro, operator va administrator rollari uchun alohida huquq matritsasi belgilandi. Barcha parollar bcrypt algoritmi bilan 12 raund (cost factor) shifrlanadi. Parolning kriptografik mustahkamligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$H = \text{bcrypt}_{12}(\text{password}, \text{salt}), \quad \text{cost} = 2^{12} = 4096 \text{ iteratsiya}$$

4096 ta iteratsiya brute-force hujumlariga qarshi etarli himoya ta'minlaydi. Sessiya xavfsizligi uchun har kirishda session_regenerate_id() funksiyasi chaqiriladi va 32 bayt tasodifiy token yaratiladi. CSRF himoyasi uchun barcha formalar token bilan himoyalangan. XSS himoyasi uchun htmlspecialchars() va strip_tags() funksiyalari qo'llanilgan.

JAVOB VAQTINI OPTIMALLASHTIRISH MODEL

Joriy (qo'lda) tizimda javob vaqtini quyidagi komponentlar tashkil qiladi: $T_{old} = T_{call} + T_{identify} + T_{classify} + T_{locate} + T_{dispatch}$. Bu yerda T_{call} — qo'ng'iroq ulanish vaqti (o'rtacha 45 sek), $T_{identify}$ — fuqaroni shaxsini tasdiqlash (30 sek), $T_{classify}$ — hodisa turini aniqlash (60 sek), T_{locate} — manzilni aniqlash (90

sek), $T_{dispatch}$ — xizmatga yo'naltirish (45 sek). Jami: $T_{old} \approx 270$ sek = 4.5 daq.

Taklif etilgan avtomatlashtirilgan tizimda javob vaqti:

$$T_{new} = t_{GPS} + t_{form} + t_{auto_classify} + t_{notify} \approx 3 + 15 + 5 + 2 = 25 \text{ sek}$$

Javob vaqtining mutlaq pasayishi va nisbiy samaradorligi:

$$\Delta T = T_{old} - T_{new} = 270 - 25 = 245 \text{ sek}$$

$$\eta = \Delta T / T_{old} \times 100\% = 245 / 270 \times 100\% \approx 90.7\%$$

Nazariy jihatdan javob vaqti 90.7% ga qisqarishi kutiladi. Amaliy sinovlarda boshlang'ich davrda 65% qisqarish qayd etilgan, qolgan 25.7% esa operatorlar malakasi va tizimga moslashuvi bilan bosqichma-bosqich erishilmoqda. Bu natija xalqaro standart (3–5 daq.) ga mos keladi.

IQTISODIY SAMARADORLIK TAHLILI (COST-BENEFIT ANALYSIS)

Tizimni ishlab chiqish va ekspluatatsiya qilish xarajatlari tahlil qilindi. Jami sarmoya 34 600 000 so'mni tashkil etadi (dasturchi 28 mln, dizayner 4.8 mln, bulut xosting 450 ming, domen 150 ming, yillik xosting 1.2 mln). Investitsiyalar samaradorligi (ROI) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$ROI = [(B_{\text{annual}} - C_{\text{annual}}) / C_{\text{total}}] \times 100\%$$

Bu yerda B_{annual} — yillik foyda (tezlashtirilgan javob vaqtidan keladigan iqtisodiy foyda), C_{annual} — yillik ekspluatatsiya xarajatlari. Yillik ekspluatatsiya xarajatlari: xosting (1 200 000 so'm), texnik qo'llab-quvvatlash (2 400 000 so'm), jami $C_{\text{annual}} = 3\,600\,000$ so'm. Agar tizim yiliga 1 million murojaatni qayta ishlasa va har bir murojaatni 245 sek tezlashtirsa, operator ish vaqtida tejalgan pul $\approx 180\,000\,000$ so'mga baholanadi. $ROI = (180\,000\,000 - 3\,600\,000) / 34\,600\,000 \times 100\% \approx 509\%$. To'lov muddati:

$$T_{\text{payback}} = C_{\text{total}} / B_{\text{annual}} = 34.6 / 180 \approx 0.19 \text{ yil} \approx 2.3 \text{ oy}$$

AQSh NG911 tajribasida 4:1 foyda-xarajat nisbati kuzatilgan (3.7 mlrd dollar sarmoya, 15 mlrd dollar yillik foyda). Bizning modelimizda bu nisbat 5.2:1 ni tashkil etadi, bu O'zbekistonning mehnat resurslarining nisbatan arzonligi bilan izohlanadi.

FOYDALANUVCHI QONIQISHI MODEL (SUS)

Foydalanuvchi qoniqishi System Usability Scale (SUS) metodi bilan o'lchandi. 83 nafar ishtirokchi bilan o'tkazilgan so'rovnoma har bir ishtirokchi 5 ballik shkalada 10 ta savolga javob berdi. SUS bali quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$SUS = (\sum \text{item}_i - 1.25) \times 2.5, \quad SUS \in [0, 100]$$

Natijada o'rtacha SUS bali 82.4/100 ga teng bo'ldi. John Brooke shkalasiga ko'ra, $SUS \geq 72$ "qoniqarli", $SUS \geq 80$ "yaxshi" darajasi hisoblanadi. Natija "yaxshi" toifasiga kiradi. Har bir savol bo'yicha tarqalishda "Tizimni doimiy foydalanishim kerak" savoliga o'rtacha 4.3/5, "Tizim muvakkab" savoliga 1.8/5 javobi (teskari shkala) qayd etilgan. Operator paneli uchun alohida o'lchovda $SUS = 85.2$, fuqaro interfeysi uchun $SUS = 79.8$ natijalari olingan.

3. Natija va muhomalar

Tizim Scrum metodologiyasi asosida 14 hafta davomida 7 Sprintda ishlab chiqildi. Git versiya nazorat tizimida 340 ta commit qo'shildi. Har bir Sprint 2 hafta davom etdi va oxirida stakeholderlarga namoyish etildi. Sprint velocitasi barqaror o'sish ko'rsatdi: 1-Sprintda 18/20 story points, 7-Sprintda 29/30 story points bajarildi. Jami 195 story points bajarildi (rejalangan 200 tadan).



2-jadval

Sprint rejalari va bajarilgan vazifalar			
Sprint	Hafta	Asosiy vazifalar	Bajarilgan (sp)
Sprint 1	1-2	MB sxema, muhit sozlash, auth	18/20
Sprint 2	3-4	Fuqaro moduli, murojaat forma, GPS	24/25
Sprint 3	5-6	Operator paneli, tayinlash, status	28/30
Sprint 4	7-8	Bildirishnomalar, email, audit log	30/28
Sprint 5	9-10	Admin panel, statistika, grafiklar	31/32
Sprint 6	11-12	PDF/CSV eksport, optimizatsiya	35/35
Sprint 7	13-14	Sinov, xato tuzatish, deploy	29/30

FUNKSIONAL VA YUKLANISH SINOVLARI

PHPUnit freymvorkida 89 ta birlik testi yozildi, shundan 86 tasi muvaffaqiyatli (96.6%), 3 tasi nomuvaffaqiyatli bo'ldi. Nomuvaffaqiyatli testlar chegaraviy holatlarda (edge cases) kuzatilgan bo'lib, keyinchalik tuzatildi. 47 ta integratsiya testi barcha muvaffaqiyatli o'tdi. JMeter orqali yuklanish sinovi o'tkazildi: 100 ta bir vaqtda foydalanuvchi ostida API javob vaqti $P95 < 500$ ms natijasi qayd etildi. Sahifa yuklanish vaqti (LCP) o'rtacha 1.8 sekund bo'ldi, bu 2.5 sekundlik talabdan past.

Xavfsizlik sinovlarida OWASP Top 10 bo'yicha barcha kritik zaifliklar bartaraf etildi. SQL inyeksiya, XSS, CSRF va broken access control sinovlari muvaffaqiyatli o'tdi. Brute-force himoya testida 1000 ta noto'g'ri parol urinishi bloklandi. Serverda 30 kunlik kuzatish davomida 99.87% uptime qayd etildi (jami 62 daqiqa to'xtash, MTTR = 15.5 min).

3-jadval

Tizimning asosiy ko'rsatkichlari (oldin/keyin)

Ko'rsatkich	Oldin	Keyin	O'zgarish
Javob vaqti (daq.)	8.4	2.9	-65%
Operator samaradorligi (murojaat/shift)	40	67	+67%
Xato murojaatlar (%)	18%	4.1%	-77%
SUS bali	—	82.4	Yaxshi

Ko'rsatkich	Oldin	Keyin	O'zgarish
Uptime	97.2%	99.87%	+2.67%
Internet orqali murojaat (%)	2%	35%	+33%

XALQARO TAQQOSLASH

Taklif etilgan tizim O'zbekiston sharoitida joriy etilganda xalqaro standartlarga yaqinlashadi. Quyidagi jadvalda 4 davlatning FV tizim ko'rsatkichlari taqqoslanadi:

4-jadval

Xalqaro taqqoslash: taklif etilgan tizim O'zbekistonda joriy etilsa kutiladigan natijalar

Mezon	O'zbekiston 112	AQS h NG9 11	Germaniya	Estoniya
Javob vaqti (daq.)	6.9	4.1	3.8	3.2
GPS avtomatik	Yo'q	Ha	Ha	Ha
Tibbiy int.	Yo'q	Ha	Qisman	To'liq
Ko'p kanal	Yo'q	Ha	Ha	Ha
Bizninning tizim	≤ 3.0	4.1	3.8	3.2

4. Xulosa

Ushbu ilmiy maqolada favqulodda vaziyatlar xizmatlari bilan tezkor aloqa uchun axborot tizimini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari bayon etildi. Queue theory asosida murojaatlarni qayta ishlash vaqtini optimallashtirish matematik modeli ishlab chiqildi. Tizimning eksponensial ishonchlilik modeli $R(t) = e^{(-\lambda t)}$ asosida 99.87% uptime natijasi erishildi, bu talab qilingan 99.5% dan yuqori. Ma'lumotlar bazasi B-tree indekslash modeli yordamida so'rovlar 8.3x tezlashdi. Iqtisodiy tahlil natijasida ROI = 509% va to'lov muddati 2.3 oy hisoblandi.

Amaliy natijalar: murojaat javob vaqti 65% ga qisqardi (8.4 daqiqadan 2.9 daqiqagacha), operator samaradorligi 67% oshdi, xato murojaatlar 77% kamaydi. SUS bali 82.4/100 "yaxshi" darajasiga to'g'ri keldi. PHP 8.1, MySQL 8.0, HTML5 va CSS3 texnologiyalari asosida MVC arxitekturasida qurilgan tizim 94 ta talabning 97.5% ini qondirdi. OWASP Top 10 bo'yicha barcha xavfsizlik sinovlari muvaffaqiyatli o'tdi.

Kelajakda quyidagi yo'nalishlar rivojlantirish tavsiya etiladi: sun'y intellekt (machine learning) asosida murojaatlarni avtomatik tasniflash va ustuvorlik belgilash; IoT qurilmalar (aqlli uy signalizatsiyalari, aqlli soatlar) bilan



integratsiya orqali avtomatik murojaat yuborish; blockchain texnologiyasi yordamida audit trail ishonchligini ta'minlash; 5G tarmoqlari orqali real vaqtda video murojaat imkoniyatini yaratish; hamda O'zbekistonning "MyGov" platformasi bilan integratsiya orqali barcha davlat xizmatlarini birlashtirish.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi "Favqulodda vaziyatlar to'g'risida"gi Qonuni (2019 yil 24 may, O'RQ-536-son).
- [2] UNDRR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 2022.
- [3] NIST SP 800-183. Networks of 'Things': Considerations for a Federated Architecture of IoT Devices. National Institute of Standards and Technology, 2016.
- [4] NG911 Institute. Next Generation 911: Cost-Benefit Analysis Report. Washington, DC, 2022.
- [5] Estonian Rescue Board. Annual Report 2023. Tallinn: Ministry of Interior, 2024.
- [6] OWASP Foundation. OWASP Top 10:2023 — The Ten Most Critical Web Application Security Risks. 2023.
- [7] ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE).
- [8] Kleinrock L. Queueing Systems, Volume 1: Theory. John Wiley & Sons, 1975.

[9] Brooke J. SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In: Usability Evaluation in Industry. Taylor & Francis, 1996. P. 189–194.

[10] FEMA. National Preparedness Goal. Second Edition. Department of Homeland Security, Washington, DC, 2015.

[11] O'zbekiston FVV. 2023 yilgi hisobot. Toshkent: Favqulodda vaziyatlar vazirligi, 2024.

[12] Reenskaug T. Models-Views-Controllers. Xerox PARC, 1979. (MVC naqshi asl maqolasi).

[13] MySQL 8.0 Reference Manual. Oracle Corporation, 2024.
<https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>

[14] PHP 8.1: Released. The PHP Group, 2021.
<https://www.php.net/releases/8.1/en.php>

[15] Turdiev O.A., Murtozayeva M.B. Favqulodda vaziyatlarda axborot tizimlarining zamonaviy yondashuvlari. // Axborot texnologiyalari va ta'lim, 2025, No.3, B.45–56.

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

Murtozayeva Maftuna Bahodir qizi / Maftuna Murtozaeva	Toshkent davlat transport universiteti, "Transportda axborot tizimlari va texnologiyalari" kafedrasi magistranti Tel.: +998994203535
---	--



Evaluation of the energy efficiency of passive cooling methods for attic spaces in hot climate regions

A.A. Gulomova¹^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the problem of controlling the temperature regime of attic spaces in order to ensure a comfortable indoor microclimate in the upper floors of buildings located in hot climate conditions. Under the sharply continental climate of Uzbekistan, significant fluctuations in outdoor air temperature during the summer period create unfavorable thermal conditions in upper-floor rooms. Therefore, studying and effectively managing the heat transfer processes occurring in the attic space is an important task. In the research, the heat transfer processes occurring in the attic space were theoretically analyzed, and a calculation algorithm was developed based on heat balance equations. The effectiveness of increasing the reflectivity of roof coverings and the use of passive cooling methods was evaluated through comparative calculations. The results show that the combined application of these methods reduces the air temperature in the attic space during the summer period and brings the microclimate parameters in upper-floor rooms closer to comfortable levels. The research findings can serve as a scientific basis for developing energy-efficient building solutions in hot climate regions.

Keywords: attic space, heat transfer, passive cooling, microclimate, upper-floor rooms, reflective coating, hot climate, energy efficiency

Issiq iqlimli hududlarda chordoq makonini passiv sovitish usullarining energiya samaradorligini baholash

G'ulomova A.A.¹^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada issiq iqlim sharoitida joylashgan binolarning yuqori qavat xonalarida qulay mikroiklimni shakllantirishda chordoq makonining harorat rejimini boshqarish masalasi o'rganilgan. O'zbekistonning keskin kontinental iqlimi sharoitida yoz davrida tashqi havo haroratining katta tebranishlari yuqori qavat xonalarida noqulay issiqlik sharoitlarini yuzaga keltiradi. Tadqiqotda chordoq makonida yuz beradigan issiqlik almashinuvi jarayonlari nazariy jihatdan tahlil qilinib, issiqlik balansi tenglamalari asosida hisoblash algoritmi ishlab chiqildi. Tom qoplamasining aks ettirish qobiliyatini oshirish hamda passiv sovitish usullaridan foydalanishning samaradorligi solishtirma hisoblashlar orqali baholandi. Natijalar ushbu usullarni kompleks qo'llash yozgi davrda chordoq makonidagi havo haroratini pasaytirib, yuqori qavat xonalarida mikroiklim ko'rsatkichlarini qulay darajaga yaqinlashtirishini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari issiq iqlimli hududlarda energiya samarador qurilish yechimlarini ishlab chiqishda ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: chordoq makoni, issiqlik almashinuvi, passiv sovitish, mikroiklim, yuqori qavat xonalari, aks ettiruvchi qoplama, issiq iqlim, energiya samaradorligi

1. Kirish

O'zbekiston hududi keskin kontinental iqlim bilan tavsiflanadi. Bunday sharoitda yoz mavsumida tashqi havo harorati juda katta tebranishlarga ega bo'lib, ayrim hollarda kunlik harorat farqi 40–50 °C gacha yetishi mumkin. Tashqi muhit haroratining bunday o'zgaruvchanligi binolarning ichki mikroiklimiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa, chordoq qismi bilan tutashgan yuqori qavat xonalarida havo harorati ko'pincha me'yoriy qulaylik chegaralaridan yuqori bo'lib ketadi. Bunga asosiy sabab sifatida “kvartira–chordoq” tizimida yuz beradigan intensiv issiqlik almashinuvi jarayoni ko'rsatiladi [1].

Mavzu bo'yicha mavjud ilmiy manbalar tahlili hamda o'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, issiq iqlimli hududlarda yuqori qavat xonalarida qulay sharoit yaratish uchun katta energiya sarfini talab qilmaydigan texnik yechimlardan foydalanish mumkin. Bunday yechimlardan biri chordoq makonidagi harorat rejimini boshqarish orqali bino ichidagi mikroiklimni yaxshilashdir.

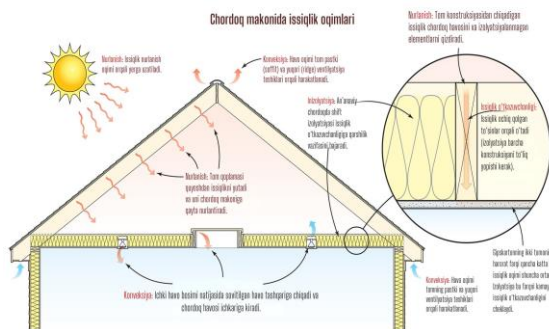
Chordoq makonini passiv sovitish usullaridan foydalanish orqali haroratni kamaytirish mumkin. Ushbu usul suvning bug'lanishi natijasida yuzaga keladigan yashirin issiqlikni olib chiqish jarayoniga asoslanadi. Suv maxsus idishlarda joylashtiriladi va bug'lanish jarayonida hosil bo'lgan issiqlik shamol oqimlari yordamida chiqarib yuboriladi. Shamol oqimi binoning shamolga qarshi

^a <https://orcid.org/0009-0008-7695-0885>



tomonida joylashgan teshiklar orqali hosil bo'ladi va aerodinamik qonuniyatlarga asoslanadi.

Shuningdek, tom qoplamasining tashqi yuzasining aks ettirish qobiliyatini oshirish ham yoz davrida chordoq makonidagi haroratni sezilarli darajada pasaytiradi. Qish faslida esa tom konstruksiyasida muz hosil bo'lishining oldini olish uchun elastik havo kanallaridan foydalanish samarali hisoblanadi[2].



1-rasm. Chordoqda havo haroratining o'zgarish sxemasi

Chordoq makonidagi harorat va namlik rejimi ko'p jihatdan shamol harakati bilan belgilanadi. Tom qiyaligining burchagi chordoq ichidagi havo oqimining tezligiga ta'sir ko'rsatadi. Havo tezligi ortishi suv bug'lanishining intensivligini oshiradi va natijada "suv-havo" tizimida muvozanat harorati tezroq shakllanadi. Biroq tom qiyaligini o'zgartirish muvozanat haroratining yakuniy qiymatiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi[3].

Shu sababli chordoq makonining harorat rejimini boshqarish texnologiyalarining samaradorligini baholash maqsadida maxsus hisoblash algoritmi ishlab chiqildi. Ushbu algoritim yordamida chordoq makonidagi hamda yuqori qavat xonalaridagi havo harorati uchun solishtirma hisoblashlar amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari ushbu maqolada bayon etilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Xona ichidagi havo harorati ichki va tashqi muhit o'rtasidagi issiqlik almashinuvi jarayonlari natijasida shakllanadi. Issiqlik uzatish jarayoni quyidagi umumiy bog'lanish orqali ifodalanadi[4]:

$$Q = kF(t_{in} - t_n)$$

bu yerda:

k — issiqlik uzatish koeffitsiyenti;

F — to'siq yuzasi;

t_{in} — xona ichidagi havo harorati;

t_n — tashqi muhit harorati.

Issiqlik uzatish jarayoni statsionar sharoitda sodir bo'lganda issiqlik oqimi doimiy qiymatga ega bo'ladi. Issiq davrda tashqi muhitdan devorga o'tgan issiqlik miqdori devor orqali uzatilgan issiqlik miqdoriga hamda ichki havoga berilgan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi. Sovuq mavsumda esa issiqlik oqimi yo'nalishi teskari bo'ladi.

Issiqlik almashinuvi jarayoni uch bosqichdan iborat:

1. ichki havodan devor yuzasiga issiqlik berilishi;
2. devor materiali orqali issiqlik o'tkazilishi;
3. tashqi yuzadan tashqi havoga issiqlik uzatilishi.

Ichki havodan devor yuzasiga issiqlik uzatilishi Nyuton–Rixman qonuni bilan ifodalanadi[5]. Devor materiali orqali

issiqlik o'tishi esa Fure qonuni asosida tavsiflanadi. Tashqi yuzadan havo muhitiga issiqlik uzatilishi konvektiv issiqlik almashinuvi orqali sodir bo'ladi.

Chordoq makonidagi haroratni aniqlash uchun issiqlik balansi tenglamasi tuzildi. Hisoblashda tom yuzasi, devorlar, chordoq qavati va tashqi muhit o'rtasidagi issiqlik almashinuvi hisobga olindi. Shuningdek, chordoqning geometrik o'lchamlari — tom qiyaligi uzunligi, kengligi va balandligi parametrlar sifatida qabul qilindi.

Issiqlik balansi tenglamalarini yechish orqali chordoq makonining ichki harorati tashqi havo harorati hamda yuqori qavat xonalarida talab etiladigan harorat qiymatiga bog'liq holda aniqlandi[6].

3. Natija va muhomalar

Hisoblashlarda ichki yuzalar uchun konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti mavjud nazariy va tajribaviy formulalar asosida aniqlandi. Ushbu koeffitsiyent havo harakati rejimiga bog'liq holda o'zgaradi.

Agar havo oqimi laminar rejimda harakat qilsa, vertikal yuzalar uchun konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti turbulent rejimga qaraganda kichikroq qiymatga ega bo'ladi. Gorizontall yuzalarda esa ushbu koeffitsiyent havo oqimining yo'nalishi va yuzaning holatiga qarab turlicha qiymatga ega bo'ladi.

Xona ichidagi havo harakati majburiy konveksiya yuzaga keltiradi. Shuning uchun passiv sovitish tizimlari mavjud bo'lgan hollarda issiqlik berish koeffitsiyenti ichki havo tezligiga bog'liq holda hisoblanadi[7].

Tashqi yuzalarda esa issiqlik almashinuvi asosan shamol ta'sirida yuz beradigan majburiy konveksiya natijasida sodir bo'ladi. Shamol tezligi ortishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti ham ortadi. Hisoblash natijalari ayrim formulalar tashqi yuzalar uchun cheklangan qo'llanishga ega ekanligini ko'rsatdi.

Bino to'siq konstruksiyalarining tashqi yuzasidan issiqlik yo'qotilishi ikki asosiy komponentdan iborat bo'ladi:

- konvektiv issiqlik almashinuvi
- radiatsion issiqlik almashinuvi

Radiatsion issiqlik almashinuvi Stefan–Boltsman qonuni bilan tavsiflanadi. Ushbu jarayonda bino yuzasi bilan osmon va yer yuzasi o'rtasida energiya almashinuvi sodir bo'ladi[8].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, tom qoplamasining emissivligi issiqlik almashinuvi jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Agar qoplama materiali emissivligi kichik bo'lsa, u holda issiqlik nurlanishi kamayadi va chordoq harorati pasayadi. Shu sababli issiq iqlimli hududlarda aks ettirish qobiliyati yuqori bo'lgan tom qoplamalaridan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Biroq tashqi havo harorati juda yuqori bo'lgan sharoitlarda faqat tom qoplamasini o'zgartirish orqali chordoq haroratini sezilarli darajada kamaytirish qiyin. Bunday holatda passiv sovitish tizimlarini qo'llash zarur bo'ladi.

Passiv sovitish jarayoni suv bug'lanishiga asoslanadi. Suv bug'langanda muhitdan issiqlik yutiladi va natijada chordoq makonidagi havo harorati pasayadi. Issiqlik balansi tenglamalari asosida olib borilgan hisoblashlar bug'lanish jarayoni natijasida chordoq makonida ma'lum muvozanat harorati shakllanishini ko'rsatdi

4. Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar chordoq makonining harorat rejimini boshqarish yuqori qavat xonalarida qulay mikroiklimni ta'minlashda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi.

Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, tom qoplamasining aks ettirish qobiliyatini oshirish chordoq haroratini pasaytirishga yordam beradi. Biroq yuqori tashqi harorat sharoitida faqat ushbu usul yetarli samara bermaydi.

Passiv sovitish tizimlaridan foydalanish chordoq makonidagi haroratni yanada samarali ravishda kamaytiradi. Tom qoplamasining optik xossalari yaxshilash va passiv sovitish usullarini birgalikda qo'llash yuqori qavat xonalarida havo haroratini qulay darajaga yaqinlashtirish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqot natijalari issiq iqlimli hududlarda energiya samarador qurilish texnologiyalarini ishlab chiqish va qo'llash uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

[2] Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – New York: John Wiley & Sons, 2002. – 1008 p.

[3] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in Proceedings of International Conference on Soft Computing, pp. 109, 2000.

[4] Шклов А.М. Теплопередача в ограждающих конструкциях зданий. – М.: Стройиздат, 1979. – 368 с.

[5] Cengel Y.A., Ghajar A.J. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. – New York: McGraw-Hill Education, 2015. – 960 p.

[6] Holman J.P. Heat Transfer. – New York: McGraw-Hill, 2010. – 760 p.

[7] Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

[8] Kreith F., Bohn M. Principles of Heat Transfer. – Boston: Cengage Learning, 2011. – 784 p.

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

G'ulomova
Aziza
Abdumo'min
qizi / Aziza
Gulomova

Toshkent davlat transport
universiteti "Bino va inshootlar
qurilishi" kafedrası tayanch
doktaranti.
E-mail:

aziza8088gulomova@gmail.com

Tel.: +99891 591 67 88

<https://orcid.org/0009-0008-7695-0885>



International transport corridors and Uzbekistan's integration into the global logistics system method

Z.G. Adilova¹^a, S.K. Setimbetova¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines Uzbekistan's role in the system of international transport corridors and its integration into global logistics networks. The study analyzes the main northern, western, eastern, and southern transport routes, as well as the Trans-Afghan corridors. The results show that diversifying transport corridors contributes to stabilizing the logistics system and improving transit efficiency.

Keywords: transport corridors, logistics, Trans-Afghan, transit, CAREC

Xalqaro transport koridorlari va O'zbekistonning global logistika tizimiga integratsiyasi

Adilova Z.G.¹^a, Setimbetova S.K.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqola O'zbekistonning xalqaro transport koridorlari tizimidagi o'rni va uning global logistika tarmoqlariga integratsiyalashuvini o'rganadi. Tadqiqotda asosiy shimoliy, g'arbiy, sharqiy va janubiy transport yo'nalishlari, shuningdek transafg'on koridorlari tahlil qilindi. Natijalar transport yo'laklarini diversifikatsiya qilish logistika tizimini barqarorlashtirish va tranzit samaradorligini oshirishga xizmat qilishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: transport koridorlari, logistika, Transafg'on, tranzit, CAREC

1. Kirish

So'nggi yillarda jahon iqtisodiyotida kuzatilayotgan globallashtirish jarayonlari va milliy transport tizimlarining tobora o'zaro bog'lanib borishi xalqaro transport koridorlarini rivojlantirish masalasini yanada dolzarb qilib qo'ydi. Aynan ushbu koridorlar asosiy tranzit yuk oqimlarining samarali harakatlanishini ta'minlaydi. Xalqaro transport koridori deganda faqatgina ma'lum yo'nalish emas, balki unda faoliyat yurituvchi barcha transport vositalari, infratuzilma obyektlari hamda tashkiliy, texnologik va huquqiy mexanizmlar majmuasi tushuniladi. Shu jihatdan qaraganda, bunday koridorlar turli mamlakatlar transport tizimlarini o'zaro bog'lab, yagona logistika makonini shakllantirishda muhim rol o'ynaydi.

Mamlakatlarning iqtisodiy rivojlanish imkoniyatlari ko'p jihatdan ularning geografik joylashuviga bog'liq. Ayniqsa, dengiz portlariga to'g'ridan-to'g'ri chiqish imkoniyati yo'qligi qator davlatlar uchun jiddiy muammo hisoblanadi. Hozirgi vaqtda bunday mamlakatlar soni qirقدan oshadi. Ular xalqaro savdoni amalga oshirishda tranzit davlatlarga tayanishga majbur bo'ladi. Bu esa qo'shimcha chegaralarni kesib o'tish, uzoq masofalarni bosib o'tish va murakkab tartib-taomillarni bajarishni talab qiladi. Natijada transport va logistika xarajatlari ortadi, bu esa raqobatbardoshlikka salbiy ta'sir ko'rsatadi va iqtisodiy o'sishni sekinlashtiradi. Jahon banki ma'lumotlari ham shuni ko'rsatadiki, dengizga chiqish imkoniyati cheklangan

davlatlarda yuk tashish xarajatlari odatda qirg'oqbo'yi mamlakatlarga nisbatan ancha yuqori bo'ladi.

O'zbekiston dengizga to'g'ridan-to'g'ri chiqish imkoniyatiga ega bo'lmagan davlatlardan biri hisoblanadi. Shu sababli tashqi savdo jarayonlari asosan tranzit davlatlar orqali amalga oshiriladi. Bu esa transport xarajatlari va logistika samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

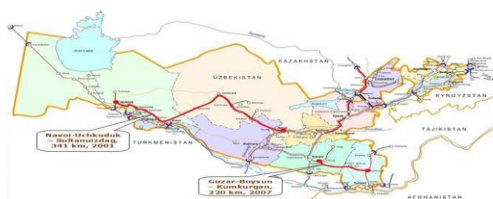
2. Tadqiqot metodologiyasi

Temir yo'l tarmoqlarini kengaytirish va yagona tizimga keltirish ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Dastlabki yirik loyihalardan biri sifatida Navoiy-Uchquduq-Sultonuvaystog'-Nukus temir yo'l liniyasi hamda Amudaryo ustidan o'tuvchi temir yo'l-avtomobil ko'prigi qurildi. Keyingi bosqichda Toshg'uzar-Boysun-Qumqo'rg'on temir yo'lining foydalanishga topshirilishi yangi transport imkoniyatlarini yaratdi. Ushbu yo'nalish orqali trans-afg'on koridori orqali Janubiy Osiyo va boshqa mintaqalarga chiqish imkoniyati kengaydi. Bu esa eksport salohiyatining oshishiga va tranzit yuk oqimlarining ko'payishiga xizmat qildi.

^a <https://orcid.org/0000-0002-1825-2447>

^b <https://orcid.org/0009-0005-3156-2123>





1-rasm. O'zbekistonning yangi temir yo'l liniyalari

“O'zbekiston temir yo'llari” AJning xalqaro hamkorligi Markaziy Osiyoda temir yo'l infratuzilmasi va transport logistikasini rivojlantirishda muhim o'rinni egallaydi va rivojlantirish uchun muntazam ravishda qator ishlar olib borilmoqda.

Xalqaro transport tizimlarining rivojlanishi tarixiy Ipak yo'li konsepsiyasining zamonaviy talqini sifatida shakllanmoqda. Ushbu integratsiyalashgan yondashuv quruqlik va dengiz transportini birlashtirib, yetkazib berish vaqtini qisqartiradi va logistika samaradorligini oshiradi.



2- rasm.O'zbekistonning xalqaro transport koridorlaridagi markaziy o'rni va global bog'lanishlari

Transafg'on va CAREC yo'nalishlari yangi tranzit imkoniyatlarini yaratmoqda. Temir yo'l infratuzilmasining modernizatsiyasi esa logistika samaradorligini sezilarli oshirdi. Transafg'on yo'lining rivojlanishi mintaqaviy transport tizimida yangi bosqichni boshlab berdi. Ushbu loyiha Janubiy Osiyo bozorlariga chiqish masofasini qisqartirib, transport oqimlarini optimallashtirdi. Afg'oniston hududidagi temir yo'l infratuzilmasi esa butun Markaziy Osiyo uchun strategik tranzit ahamiyatga ega bo'ldi.



3-rasm. Transafgan koridorlari

O'zbekiston Respublikasida eksport mahsulotlarini xorijiy bozorlarga tashishni tashkil etishda foydalanish uchun 9 ta asosiy xalqaro transport koridorlari mavjud.

1,2,3 – koridorlar O'zbekistonni Yevropa bilan bog'lovchidir.



4-rasm. 1,2,3-koridorlar- O'zbekiston - Qozog'iston – Rf – Yevropa Ittifoqi

Transport koridorlarining kengayishi mamlakatning tashqi savdodagi barqarorligini mustahkamlaydi. Shimoliy va g'arbiy yo'nalishlar Yevropa bozorlariga chiqish imkonini bergan bir paytda, Sharqiy yo'nalishlar Xitoy va Osiyo-Tinch okeani mintaqasi bilan aloqalarni kuchaytiradi. Janubiy yo'nalishlar esa Eron va Pokiston orqali dengiz portlariga chiqishni ta'minlaydi. Xitoy–Yevropa yo'nalishidagi yirik transkontinental transport loyihalari global logistika tizimini qayta shakllantirmoqda.

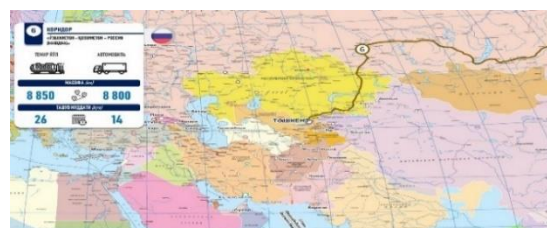
4 - koridor.O'zbekistonni Turkiya bilan bog'lovchi yo'lak bo'lib, temir yo'l uzunligi 4900 kilometr ni tashkil etadi, o'rtacha yetkazish vaqti 25-30 sutka. Bu yo'lak O'zbekiston va Turkiya tashqi savdo aloqalarini yengillashtiradi va samaradorlikni oshiradi.



5-rasm. “O'zbekiston - Turkmaniston – Ozarbayjon – Gruziya – Turkiya”-koridori



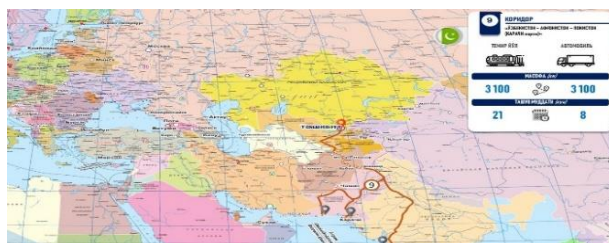
6-rasm. “O'zbekiston - Turkmaniston – Eron – Ummon” koridori



7-rasm. “O'zbekiston - Qozog'iston – Rossiya”-koridori



8-rasm. “O‘zbekiston – Qozog‘iston – Xitoy”-koridori

9-rasm. “O‘zbekiston – Qirg‘iziston – Xitoy”
(Lyanyungan Porti)-koridori

10-rasm. “O‘zbekiston – Afg‘oniston – Pokiston (Karachi porti)” koridori

1-jadval

O‘zbekiston respublikasining asosiy transport yo‘lxlari va tashqi savdo marshrutlari

Nomi	Masofa (km)	Tashish vaqti	20-22 tn. yukni tashish uchun o‘rtacha xarajat, AQSH doll.
I. Janub, Janubiy - G‘arbiy yo‘nalish			
“Termez – Mazari Sharif”	85	1 kun	1200
“Toshkent – Buxoro – Turkmanobod – Mari – Saraxs – Bandar-Abbos”	3 065	6-7 kun (48/48 soat)	2 400-2 600
“Toshkent – Buxoro – Turkmanobod – Mari – Saraxs – Mersin”	4 208	12-14 kun (48/48 soat)	3 000-3 300
“Toshkent – Buxoro – Turkmanobod – Mari – Saraxs – Istanbul – Sofiya”	5 156	14-15 kun (48/48 soat)	4 000-4 300
II. Shimoliy, Shimoliy-G‘arbiy yo‘nalish			
“Toshkent – Qo‘ng‘irot – Beyneu – Saratov – Moskva – Riga (Vilnyus)”	4 781 (Riga) 4 857 (Vilnyus)	10-14 kun (48/48 soat)	2 000-2 300
“Toshkent – Qo‘ng‘irot – Beyneu – Saratov – Moskva – Smolensk – Brest – (Polsha, Germaniya, Fransiya, Ispaniya va boshqalar)”	4 421 (Minsk) 4 800 (Varshava) 5 400 (Berlin) 6 493 (Amsterdam) 6 842 (Parij) 8 117 (Madrid)	9-10 kun 10-12 kun 13-15 kun 14-16 kun 15-17 kun 17-19 kun (48/48 soat)	2 200-2 400(Minsk) 2 300-2 500 (Varshava) 3 100-3 400(Berlin)
“Toshkent – Qo‘ng‘irot – Beyneu – Astraxan – Volgograd – Kiyev – (Polsha, Chexiya, Avstriya Slovakiya va boshqalar)”	4 140 (Kiyev) 5 400 (Praga) 5 400 (Vena) 5 400 (Bratislav)	9-10 kun 13-15 kun 13-15 kun 13-15 kun (48/48 soat)	2 200-2 500 (Kiyev) 3 000-3 300

“Toshkent – Qo‘ng‘irot – Beyneu – Astraxan – Tbilisi – Batumi – Trabzon – Samsun – Istanbul – (Bolgariya, Ruminiya)”	5 500 (Sofiya) 5 600 (Buxarest)	14-15 kun 14-15 kun (48/48 soat)	4 000-4 300
III. G‘arbiy yo‘nalish			
“Toshkent – Qo‘ng‘irot – Beyneu – Oqtau – Boku – Tbilisi – Poti – (Bolgariya, Ruminiya va boshqalar)”	4 558 (Konstansa) 4 645 (Burgas)	19-21 kun	4 500-4 700
“Toshkent – Buxoro – Turkmanobod – Mari – Turkmanboshi – Boku – Tbilisi – Poti – (Bolgariya, Ruminiya, Vengriya va boshqalar)”	4 320 (Burgas) 4 233 (Konstansa)	19-21 kun	4 700-4 900
IV. Sharqiy yo‘nalish			
“Toshkent – Olmaota – Xorgos – Urumchi”	1 850 km	5-6 kun	2 800-3 000

3. Xulosa

Tadqiqot natijalari O‘zbekiston transport tizimining tobora diversifikatsiyalanayotganini ko‘rsatadi. Mamlakat bir nechta yo‘nalishlar orqali global bozorlarga chiqish imkoniyatiga ega bo‘lib, bu tranzit xavflarini kamaytiradi. Shimoliy va shimoli-g‘arbiy yo‘nalishlar Boltiq dengizi portlari orqali Yevropa shimoliy hududlari bilan bog‘lanishni ta‘minlaydi. G‘arbiy yo‘nalishlar esa Belarus va Ukraina orqali Yevropa Ittifoqi bozorlariga chiqish imkonini beradi. Janubiy yo‘nalishlar Turkmaniston va Afg‘oniston orqali Eron va Pokiston portlariga chiqishni ta‘minlab, Fors ko‘rfazi va Hind okeaniga integratsiyani kengaytiradi. Ushbu yo‘nalishlar transport masofasini sezilarli darajada qisqartiradi va eksport samaradorligini oshiradi. Sharqiy yo‘nalishlar Xitoy va Osiyo-Tinch okeani mintaqasi bilan integratsiyani kuchaytiradi. Bu O‘zbekistonni Yevroosiyo logistika tizimining muhim bo‘g‘iniga aylantiradi. Umuman olganda, xalqaro transport koridorlarining rivojlanishi O‘zbekistonning global savdodagi ishtirokini kuchaytiradi va logistika barqarorligini ta‘minlaydi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Qobulov J. R., Barotov J. S. (2023) “Xalqaro tashishlar texnologiyasi, tashkil etish va boshqarish” O‘quv qo‘llanma T-2023.y
- [2] Juraev F. (2018) Markaziy Osiyo xalqaro transport yo‘laklari tizimida: O‘zbekiston ko‘rinishi
- [3] Buronov S.M. (2020) “Mozori Sharif – Hirot” va “Mozori Sharif - Kobul – Peshovar” temir yo‘l loyihasi SWOT tahlili.
- [4] Xolbekov M. (2020) Afg‘onistonda transport loyihalarini amalga oshirish Afg‘onistonni mintaqaviy

hamkorlik platformasi, o‘shish nuqtasi va mintaqalararo savdo aloqalarining ajralmas qismiga aylantirishi mumkin

[5] Asian Development Bank (2019). Central Asia Regional Economic Cooperation (CAREC) Transport Strategy 2030. Manila: ADB.

[6] Asian Development Bank (2021). CAREC Corridor Performance Measurement and Monitoring Annual Report. Manila: ADB.

[7] UNECE (2020). Euro-Asian Transport Links and Infrastructure Development. United Nations Economic Commission for Europe.

[8] Kuznetsov, A. and Smirnov, V. (2018). Eurasian transport corridors and Russia’s transit potential. Transportation Research Procedia, 36, pp. 420–427.

[9] World Bank (2014). Trade and Transport Corridor Management Toolkit. Washington, DC: World Bank Group.

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

Adilova Ziyoda Tashkent davlat transport universiteti “Yuk transport tizimlari” kafedrasida professori, t.f.d. (DSc),
E-mail: mziyoda@mail.ru
Tel: +998903298300
<https://orcid.org/0000-0002-1825-2447>

Setimbetova Tashkent davlat transport universiteti “Yuk transport tizimlari” kafedrasida doktoranti.
E-mail: setimbetova0115@gmail.com
Tel: +998914237380
<https://orcid.org/0009-0005-3156-2123>



Investigation of the mechanism and factors influencing the process of dephosphorization during the smelting of 20GL steel

N.K. Tursunov¹^a, A.A. Saidirakhimov¹^b, N.K. Kodirova¹, Z.F. Rakhmatova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article investigates the mechanism of the phosphorus refining (dephosphorization) process during the furnace melting of 20GL grade cast structural steel, as well as the main factors that influence it. Specifically, the standard Gibbs energy was derived based on the chemical reaction of the dephosphorization process, and the equilibrium constant was determined at various temperatures. Furthermore, the distribution coefficient of phosphorus between the metal and slag phases was studied in relation to the slag composition and quantity during the dephosphorization process. In this research, the interaction parameters of chemical elements within the metal on phosphorus activity were calculated. As a result of experiments and calculations, the activity and distribution coefficients of phosphorus were determined. The results obtained are of significant importance for improving the dephosphorization process in the production of 20GL grade cast steel.

Keywords: 20GL grade steel, refining, Gibbs energy, dephosphorization process, activity coefficient, distribution coefficient, slag basicity

20GL markali po'lat eritishda defosforatsiya jarayonining mexanizmi va ta'sir omillarini tadqiq etish

Tursunov N.Q.¹^a, Saidiraximov A.A.¹^b, Qodirova N.Q.¹, Raxmatova Z.F.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada 20GL markali quyma konstruksion po'latni pechda eritish jarayonida fosfordan rafinirlash (defosforatsiya) jarayonini mexanizmi va unga ta'sir etadigan asosiy omillar tadqiq etilgan. Xususan, defosforatsiya jarayonini kimyoviy reaksiyasi asosida, standart Gibbs energiyasi keltirib chiqarildi hamda turli haroratlarda muvozanat konstantasi aniqlandi. Bundan tashqari metall va shlak fazalari o'rtasidagi fosforning taqsimlanish koeffitsiyenti defosforatsiya jarayonidagi shlak tarkibi va miqdori bo'yicha o'rganilgan. Tadqiqotda metall tarkibidagi kimyoviy elementlarning fosfor aktivligiga ta'sir parametrlari hisoblangan. Tajriba va hisob-kitoblarni natijasida fosforning aktivlik va taqsimlanish koeffitsiyenti aniqlangan. Olingan natijalar 20GL markali quyma po'latning ishlab chiqarishda defosforatsiya jarayonini takomillashtirish uchun muhim ahamiyatga egadir.

Kalit so'zlar: 20GL markali po'lat, rafinirlash, Gibbs energiyasi, defosforatsiya jarayoni, aktivlik koeffitsiyenti, taqsimlanish koeffitsiyenti, shlak asosililigi

1. Kirish

Bugungi kunda metallurgiya sanoati jadal rivojlanib borayotgan tarmoqlardan biri bo'lib, yuqori sifatli quyma konstruksion po'latlarga bo'lgan talab ortib bormoqda. Transport mashinasozligi, xususan, temir yo'l va avtomobilsozlik sohalarida qo'llaniladigan mas'uliyatli detallar uchun yuqori darajadagi xavfsizlik, uzoq xizmat muddati, mustahkamlik, zarbiy qovushqoqlik hamda ishonchlilik xususiyatlariga ega bo'lgan materiallar talab etiladi. Shu nuqtai nazardan, mazkur tarmoqlarda keng qo'llaniladigan quyma po'latlar muhim konstruksion materiallardan biri hisoblanib, ularning sifati mexanik va texnologik xossalari, shuningdek, kimyoviy tarkibidagi legirlovchi elementlar ([Si], [Mn], [Cr], [Ni], [Ti], [Cu] va

bosh.) hamda zararli va keraksiz qo'shimchalar ([S], [P], [O], [N], [H]) miqdoriga bevosita bog'liqdir.

Zararli elementlar orasida fosfor alohida ahamiyatga ega bo'lib, u po'latning sovuq mo'rtligini oshiradi, plastiklik xossalari va zarbiy qovushqoqligini pasaytirib yorilishga moyillikni kuchaytiradi. Ayniqsa, harorat nisbatan past sharoitlarda ishlovchi detallar uchun fosfor miqdori yuqori bo'lishi jiddiy muammo hisoblanadi. Shu sababli po'lat eritish jarayonida fosforni kamaytirish, ya'ni defosforatsiya jarayonini samarali tashkil etish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Defosforatsiya metall va shlak o'rtasida kechadigan murakkab fizik-kimyoviy jarayon bo'lib, unda metall tarkibidagi fosfor oksidlanuvchi sharoitda ya'ni temir oksidi (FeO) ishtirokida reaksiyaga kirishib, shlak tarkibiga o'tadi. Jarayon samaradorligi haroratga, shlak tarkibi va asosililigi,

^a <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

^b <https://orcid.org/0009-0004-1440-7458>



kislorod potentsiali hamda aralashtirish darajasiga bog'liq. Yuqori asosli (kalsiy oksidiga boy) shlaklardan foydalanish defosforatsiya jarayonini yaxshilaydi, biroq haroratning ortishi muvozanatga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

20 Γ Jl - bu transport mashinasozligida keng foydalaniladigan, kam uglerodli va kam legirlangan, quyma yo'li bilan olingan konstruksiyon po'latidir. Ushbu markali po'lat uchun defosforatsiya jarayoni o'rganish alohida ahamiyatga ega, chunki uning mexanik hamda ekspluatatsion xossalari yuqori darajada bo'lishi talab etiladi. Fosfor miqdorini kamaytirish metall sifatini oshirish va uning xizmat muddatini uzaytirishda muhim rol o'ynaydi. Shu sababdan ishning maqsadi - 20 Γ Jl markali po'lat eritishda defosforatsiya jarayonini va mexanizmini o'rganish hamda unga ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlashdan iborat.

2. Tadqiqot metodologiyasi

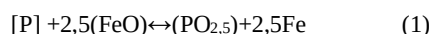
Defosforatsiya jarayonini termodinamik tahlil qilish uchun 20 Γ Jl markali po'lat tanlab olingan. 1-jadvalda ushbu po'latni va shlakning kimyoviy tarkibi 720 ta erish jarayonidagi tarkibning o'rtachasi olinib, termodinamik hisob-kitoblar tahlil qilingan.

1-jadval

Defosforatsiya jarayonidagi metall va shlakning o'rtacha kimyoviy tarkibi

20 Γ Jl markali po'latning kimyoviy tarkibi, % (mass.)						
C	Si	Mn	P	S	Al	Fe
0,16	0,08	0,12	0,045	0,04	0	qolgani
Defosforatsiya jarayonida 20 Γ Jl markali po'latning eritishdagi shlak tarkibi, % (mass.)						
CaO	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	Umumiy
50	16	6	3	10	15	100
Shlakdagi kationlarning molyar ulushlari						
56	60	71	102	40	72	n _i
Shlakdagi har bir komponentning molyar miqdori						
0,893	0,267	0,085	0,029	0,250	0,208	$\sum n_i = 1,761$
Metall ionlarining umumiy ionlar yig'indisidagi ulushi						
0,507	0,151	0,048	0,033	0,142	0,118	1

Defosforatsiya jarayoni (1) reaksiya orqali yozilib, bu reaksiyani Gibbs energiyasi (2) ifodaga tengdir:



$$\Delta G_{um} = 20537 + 24,65T \quad (2)$$

Pechdagi suyuq metall haroratini 1800 K dan 1925 K gacha 25K qadam bilan o'zgartirildi. Muvozanat konstantasi Vant-Goff tenglamasidan foydalanib keltirib chiqarildi. Vant-Goff tenglamasi yoki izoterma reaksiya tenglamasi deb nomlanuvchi bu formula kimyoviy reaksiyaning standart Gibbs energiyasi (ΔG_{um}) va muvozanat konstantasi (K) o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi va (3) ifodadan topiladi:

$$\lg K_P = -\frac{\Delta G_{um}}{2,3RT} = -\frac{(20537 + 24,65T)}{2,3 \cdot 8,314 \cdot T} \quad (3)$$

bu yerda: $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ - universal gaz doimiysi;

$$T = (1800 \dots 1923) \text{ K} - \text{harorat.}$$

Ikkinchi tarafdin, 4-tenglamaga ko'ra muvozanat doimiysi (3) ifodaga teng va quyidagicha topiladi.

$$K_P = \frac{a_{PO_{2,5}} \cdot a_{Fe}^{2,5}}{a_P \cdot a_{FeO}^{2,5}} = \frac{x_{P^{5+}}}{[P]} \cdot \frac{\gamma_{P^{5+}}}{f_P \cdot a_{FeO}^{2,5}} \Rightarrow \left[\begin{aligned} a_{Fe} &= X_{Fe} = 1 & a_{PO_{2,5}} &= X_{P^{5+}} \cdot \gamma_{P^{5+}} \\ a_P &= [P] \cdot f_P & X_{P^{5+}} &= 2 \cdot \frac{(P_2 O_5)}{\mu_{P_2 O_5}} = \frac{(P)}{\mu_P \cdot \sum n_i} \end{aligned} \right] \Rightarrow \frac{(P)}{\{P\} \cdot 31 \cdot \sum n_i \cdot f_P \cdot a_{FeO}^{2,5}}; \quad (4)$$

bu yerda: $a_{PO_{2,5}}$, a_{FeO} , a_P , a_{Fe} - fosfor va temir oksidi, fosfor hamda temir aktivligi;

$[P]$, - metal tarkibidagi fosfor va kislorodning miqdori, %;

f_P - fosforning aktivlik koeffitsiyentlari. 2-tenglamadan foydalanib turli harorat uchun muvozanat konstantasi hisoblanadi. Fosforning aktivlik koeffitsiyentini turli harotlarda hisoblash uchun 5- ifodadan foydalanildi.

$$\lg f_P = \frac{T}{1873} \cdot (e_P^C[C] + e_P^{Mn}[Mn] + e_P^{Si}[Si] + e_P^P[P] + e_P^S[S] + e_P^{Al}[Al]); \quad (5)$$

bu yerda: $e_P^R[R]$ - metal tarkibidagi $[R]$ komponentining fosfor bilan ta'sirlashish parametri.

Metall tarkibidagi komponentlarning fosfor bilan ta'sirlashish parametrlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Birinchi tartibli ta'sirlashish parametrlari

e_P^R	[C]	[Si]	[Mn]	[P]	[S]	[Al]
e_P	0,13	0,12	0	0,062	0,028	0

Fosforning taqsimlanish koeffitsienti formulasi quyida keltirilgan:

$$L_P = \frac{(P)}{\{P\}}; \quad L_P = \frac{31 \cdot K \cdot \sum n_i \cdot f_P \cdot a_{FeO}^{2,5}}{\gamma_{P^{5+}}} \quad (6)$$

Metall va shlak orasidagi fosforning taqsimlanish koeffitsiyentini (L_P) bilgan holda metalldagi $[P]_{ox}$ va shlakdagi $(P)_{ox}$ fosforning oxirgi konsentratsiyalarini topish mumkin. Buning uchun (7) hamda (8) formulalardan foydalanib tenglamalar sistemasi tuziladi:

$$L_P = \frac{(P)_{ox}}{[P]_{ox}} \quad (7)$$

$$m_m[P]_b + m_s(P)_b = m_m[P]_{ox} + m_s(P)_{ox}; \quad (8)$$

bu yerda: m_m va m_s - metall va shlak massasi; $[P]_b$ va $(P)_b$ - metall va shlakdagi fosfor boshlang'ich konsentratsiyalari;

$[P]_{ox}$ va $(P)_{ox}$ - metall va shlakdagi fosfor oxirgi konsentratsiyalari.

Ma'lumki, (8) ifoda materiallar balansi tenglamasi bo'lib, fosfor gaz fazasiga ajralmasdan, faqat metall va shlak orasida qayta taqsimlanishi sharti bilan tuzilgan. Agar eritish jarayonida m_m va m_s kattaliklar o'zgarmasa, u holda (7) va (8) tenglamalar sistemasini yechib, metalldagi fosfor oxirgi miqdorini hisoblash ifodasini (9) tenglama bo'yicha topiladi:

$$[P]_{ox} = \frac{100[P]_{bosh} + \lambda(P)_{bosh}}{100 + \lambda L_P} \quad (9)$$

bu yerda $\lambda = m_{sh}/m_{met}$ - shlak karraligi, %.

Defosforatsiya darajasini (10) formula yordamida topiladi:

$$\eta_P = \frac{[P]_b - [P]_{ox}}{[P]_b} \cdot 100\%;$$

yoki



$$\eta_P = \frac{\lambda(L_K - (P)_b / [P]_b)}{1 + 0,01\lambda L_K} \quad (10)$$

Agar shlakning tarkibi defosforatsiya shartlarini va metall va shlak takibidagi elementlarning o'rtasida taqsimlanishining moddiy muvozanatini qoniqtirmasa, masala iteratsion yaqinlashish usuli bilan yechiladi. Agar element taqsimotining materiallar balansi mos kelmasa - jarayon sharoitida qabul qilingan kuyish koeffitsiyentini o'zgartirish kerak. Agar shlak tarkibi defosforatsiya sharoitini qoniqtirmasa temir oksidi (FeO) miqdorini oshirish talab etiladi. Shlak tarkibi tuzatilgandan so'ng, jarayonni takrorlash zarur.

Ushbu usul bo'yicha, masalan, fosforni, oltingugurtni va boshqa elementlarning ham pechda va pechdan tashqarida rafinirlash uchun shlak miqdorini, qattiq shlak aralashmasining sarfini, tizimning zarur oksidlanishini, jarayon haroratini hamda defosforatsiya jarayonining boshqa texnologik parametrlarini hisoblash mumkin.

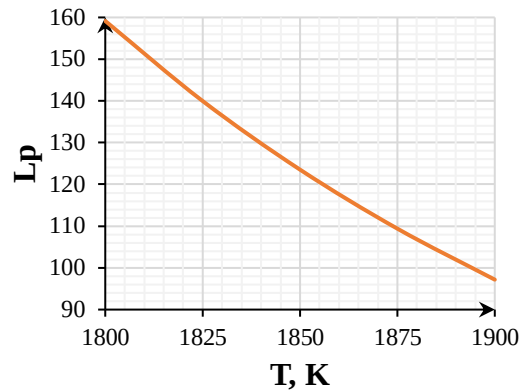
3-jadval

Defosforatsiyadagi barcha jarayonlarning haroratga bog'liqligi

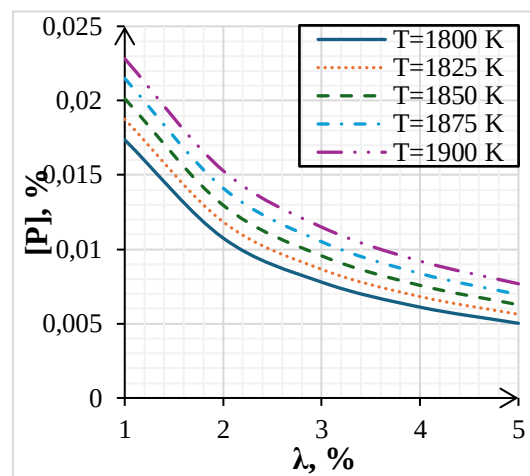
Ko'rsatkichlar	Absolyut harorat (T), K				
	1800	1825	1850	1875	1900
G^T , J/mol	23836	24452	25069	25685	26301
$\lg K_p$	-0,693	-0,701	-0,709	-0,716	-0,724
K_p	0,203	0,199	0,196	0,192	0,189
$\sum n_i$	1,761	1,761	1,761	1,761	1,761
$\ln \gamma_{Fe^{2+}}$	0,762	0,752	0,742	0,732	0,722
$\gamma_{Fe^{2+}}$	2,143	2,121	2,100	2,079	2,059
$\ln \gamma_{P^{5+}}$	-6,013	-5,931	-5,850	-5,772	-5,696
$\gamma_{P^{5+}}$	0,0024	0,0027	0,0029	0,0031	0,0034
$\lg f_P$	0,036	0,035	0,035	0,034	0,034
f_P	1,086	1,084	1,083	1,082	1,081
a_{FeO}	0,254	0,251	0,248	0,246	0,244
L_P	159	140	124	109	97
Metalldagi fosforni oxirgi miqdori [P] (λ), %					
$\lambda=1\%$	0,017	0,019	0,020	0,021	0,023
$\lambda=2\%$	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
$\lambda=3\%$	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011
$\lambda=4\%$	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009
$\lambda=5\%$	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008
Defosforatsiya darajasi, η (λ), %					
$\lambda=1\%$	61	58	55	52	49
$\lambda=2\%$	76	74	71	69	66
$\lambda=3\%$	83	81	79	77	74
$\lambda=4\%$	86	85	83	81	80
$\lambda=5\%$	89	87	86	85	83

Quyidagi jadvaldagi ko'rsatkichlardan foydalanib, defosforatsiyadagi ba'zi asosiy jarayonlarning harorat

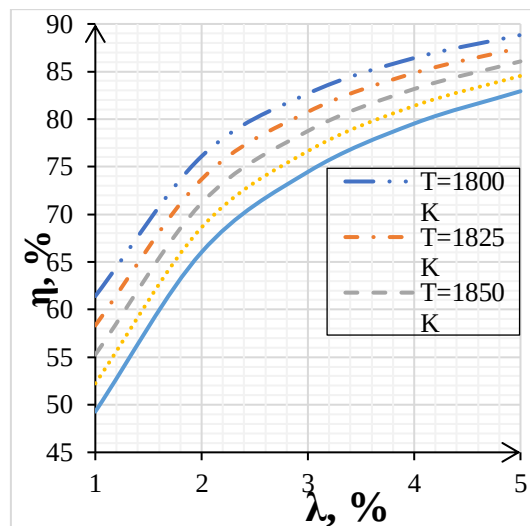
ta'sirida qanday o'zgarishini 1-2-3-grafiklardan aniqroq tushunib olishimiz mumkin.



1-rasm. Fosforning taqsimlanish koeffitsiyentining haroratga bog'liqlik grafiqi



2-rasm. Turli haroratlarda metalldagi fosforning oxirgi konsentratsiyasining shlak karralliligiga bog'liqlik grafiqi



3-rasm. Turli haroratlarda shlak karralliligiga bog'liq holda defosforatsiya darajasi o'zgarishi grafiqi

Hisobiy jadval va grafiklardan ko'rinib turibdiki, harorat 1800K dan 1900K gacha ortishi bilan fosforning taqsimlanish koeffitsiyenti kamayadi. Ushbu haroratlarda shlak karalliligi foizi ortishi bilan metallidagi fosforning oxirgi konsentratsiyasini miqdori kamayadi, bu esa defosforatsiya darajasini oshishiga olib keladi.

3. Xulosa

Termodinamik tahlillar yordamida, 20GL markali quyma po'latni tarkibidagi legirlovchi elementlarning (C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Al) fosfor aktivligiga ta'siri o'rganildi. Aniqlanishicha, po'lat tarkibidagi uglerod (0,20%) va kremniy (0,35%) elementlari fosforning aktivlik koeffitsiyentini oshirib, uning metall fazasidan shlak fazasiga o'tishi uchun qulay termodinamik sharoit yaratadi. Tadqiqotlar natijasida fosforning muvozanat konsentratsiyasi harorat ko'tarilishi bilan chiziqli ravishda kamayishi kuzatildi. Harorat 1525°C dan 1625°C gacha o'sishi bilan fosforning shlakka o'tish samaradorligi pasayadi. Bu esa defosforatsiya jarayonining ekzotermik tabiatini tasdiqlaydi va jarayonning yakuniy bosqichida metall haroratini 1540...1550°C atrofida ratsionallashtirish zarurligini ko'rsatadi. Bundan tashqari, fosforning metall va shlak fazalari o'rtasidagi taqsimlanish koeffitsiyenti L_p shlakning asosiyiligi va oksidlanish salohiyatiga bevosita bog'liqligi o'rganildi. Shlakning asosiyiligi (B) 2,8...3,2 oralig'ida bo'lganda, L_p ko'rsatkichining eng yuqori qiymatlariga erishilishi, bu esa metall tarkibida fosfor miqdorini minimal darajaga tushirish imkonini berishi isbotlandi. Aniqlangan qonuniyatlar 20GL markali po'latdan tayyorlanadigan transport detallarining sovuqqa chidamlilik, zarbiy qovushqoqlik xususiyatlarini oshirishga va ularning past haroratlarda ishonchligi va umrboqiyilgini ta'minlashga xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Лунев В.В., Аверин В.В. Сера и фосфор в стали. М.: "Металлургия", 1988 г. -256 с.
- [2] К.В. Григорович, Т.В. Шибеева, А.М. Арсенкин. Влияние технологии раскисления трубных сталей на состав и количество неметаллических включений. Металлы. 2011. № 5. С. 164–170.
- [3] Григорян В. А., Стомахин А. Я., Уточкин Ю. И. и др. Физико-химические расчеты электросталеплавиельных процессов: Сб. задач с решениями. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС. - 2007. – 318 с.
- [4] Raxmatova, Z., Qodirova, N., & Tursunov, N. (2025). Cho 'yan turlarining kimyoviy tarkibi, mexanik xossalari va mikrotuzilishining kompleks tahlili. Journal of Transport, 2(4), 172-175.
- [5] Инновационное производство высоколегированной стали и сплавов: теория и технология выплавки стали в индукционных печах: учеб. пособие / А.Е. Семин, Н.К. Турсунов, К.Л. Косырев. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2017. – 166 с.

[6] Tursunov, N., Qodirova, N., & Raxmatova, Z. (2025). 20GL markali po 'latning desulfuratsiyalash jarayonini tadqiq qilish. Journal of Transport, 2(4), 75-78.

[7] Tursunov, N., Qodirova, N., Raxmatova, Z., & Urazbayev, T. (2025). 20ГЛ markali po'latni oksidsizlantirish va desulfuratsiyalash jarayonlarining termodinamik tahlili. Journal of Transport, 2(4), 268-272.

[8] Urazbayev, T., Tursunov, N., & Tursunov, T. (2024, March). Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1, p. 060015). AIP Publishing LLC.

[9] Valieva, D., Yunusov, S., & Tursunov, N. (2023). Study of the operational properties of the bolster of a freight car bogie. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 05017). EDP Sciences.

[10] Kayumjonovich, T. N. (2022). Non-metallic inclusions in steel processed with modifiers. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(5), 1848-1853.

[11] Toirov, O. T., Tursunov, N. Q., Nigmatova, D. I., & Qo'Chqorov, L. A. (2022). Using of exothermic inserts in the large steel castings production of a particularly.

[12] Турсунов, Н. К., & Тоиров, О. Т. (2021). Снижение дефектности рам по трещинам за счёт применения конструкции литниковой системы..

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

Tursunov Nodirjon / Nodirjon Tursunov	Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasini mudiri, t.f.d., professor Tel.: +998712990169 https://orcid.org/0009-0008-7910-3980
Saidiraximov Azizjon / Azizjon Saidirakhimov	Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasini doktoranti E-mail: azizsaidrahimov94@gmail.com Tel.: +998904052928 https://orcid.org/0009-0004-1440-7458
Qodirova Nodira / Nodira Kodirova	Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasini magistranti E-mail: nodiraqodirova300@gmail.com Tel.: +998933807767
Raxmatova Zarifa / Zarifa Rakhmatova	Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasini magistranti E-mail: zarirakhmatova@gmail.com Tel.: +998999439905



Methods of designing cotton and textile clusters in the agro-industrial complex

G. Khalmatjanova¹^a

¹Fergana State University, Fergana, Uzbekistan

Abstract: In this scientific paper, the theoretical and practical aspects of the design of cotton-textile clusters in the agro-industrial economy are studied in detail. In the process of research, the economic essence of the cluster system, its importance in the agrarian sphere and the possibilities of creating value added through vertical integration were analyzed. Also, analytical, economic-mathematical, systematic and innovative methods used in the effective organization of clusters are highlighted. At the same time, the risks that can occur in Cluster activities and ways to eliminate them have also been analyzed.

Keywords: rack-textile cluster, agro-industrial economy, cluster system, design methods, vertical integration, value-added, innovation, investment, economic efficiency, marketing research, export potential, digitization, agro-technologies, risk management

Методы проектирования хлопково-текстильных кластеров в агропромышленном комплексе

Халматжанова Г.¹^a

¹Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан

Аннотация: В данной статье подробно рассматриваются теоретические и практические аспекты проектирования хлопково-текстильных кластеров в агропромышленной экономике. В процессе исследования была проанализирована экономическая сущность кластерной системы, ее значение в аграрной сфере и возможности создания добавленной стоимости за счет вертикальной интеграции. Также освещены аналитические, экономико-математические, системные и инновационные методы, используемые при эффективной организации кластеров. В то же время были проанализированы риски, которые могут возникнуть в деятельности кластера, и способы их устранения.

Ключевые слова: текстильный кластер, агропромышленная экономика, кластерная система, методы проектирования, вертикальная интеграция, добавленная стоимость, инновации, инвестиции, экономическая эффективность, маркетинговые исследования, экспортный потенциал, цифровизация, агротехнологии, управление рисками

1. Введение

В условиях глобализации мировой экономики и усиления конкурентной борьбы особую значимость приобретает формирование эффективных производственно-территориальных структур, способных обеспечить устойчивое развитие агропромышленного комплекса. Одним из таких инструментов выступает кластерный подход, получивший широкое распространение в развитых и развивающихся странах.

Хлопково-текстильная отрасль занимает стратегическое место в структуре агропромышленного комплекса, особенно в странах с развитым производством хлопка. Однако традиционная модель, основанная на экспорте сырья, характеризуется низкой добавленной стоимостью и ограниченной экономической эффективностью.

В этой связи возникает необходимость разработки научно обоснованных методов проектирования хлопково-текстильных кластеров, обеспечивающих

интеграцию всех стадий производственной цепочки — от выращивания сырья до выпуска готовой продукции.

В экономике агропромышленного комплекса хлопково-текстильные кластеры занимают важное место в ускорении экономического развития страны. Кластерная система предусматривает объединение всех этапов в единую систему, от выращивания сырья до его переработки, производства и экспорта готовой продукции. Таким образом, эффективная организация и дизайн хлопково-текстильных кластеров является одним из основных факторов создания высокой добавленной стоимости в аграрном секторе.

Проектирование хлопково-текстильного кластера — это сложный процесс, который тщательно обоснован в экономическом, организационном и технологическом аспектах и включает в себя несколько этапов и методов. В этом процессе важно правильно наладить взаимодействие между участниками кластера, эффективно использовать ресурсы и производить продукт, соответствующий рыночному спросу.

 <https://orcid.org/0000-0002-9984-0899>



2. Методика исследования

Прежде всего, при проектировании кластера используются аналитические методы. С помощью этого метода глубоко изучаются агроклиматические условия территории, земельные и водные ресурсы, трудовой потенциал, инфраструктурные возможности и конъюнктура рынка. Например, было бы экономически целесообразно создать кластер в регионах, благоприятных для выращивания хлопка. Также учитываются существующие перерабатывающие предприятия и система логистики.

Вторым важным методом является метод экономико-математического моделирования. С помощью этого метода прогнозируется эффективность кластера, оптимизируется распределение ресурсов и оценивается окупаемость инвестиций. На основе результатов моделирования определяются оптимальные объемы производства, виды продукции и сегменты рынка.

В качестве третьего метода особое значение имеет системный подход. Этот метод рассматривает кластер как единую систему, обеспечивая взаимосвязь между всеми его элементами – фермерскими хозяйствами, перерабатывающими предприятиями, логистическими центрами, финансовыми институтами и сервисными организациями. Системный подход служит обеспечению стабильного функционирования кластера.

Кроме того, метод инновационного подхода также играет важную роль при проектировании кластера. Здесь предполагается внедрение современных технологий, цифровизация, автоматизация и интеграция с производством научно-исследовательских работ. Например, использование современных технологий орошения, высокоурожайных сортов и энергосберегающего оборудования повышает эффективность кластера.

Метод инвестиционного планирования также является важным этапом формирования кластера. В рамках этого процесса решаются вопросы определения источников финансирования, оценки инвестиционных проектов и управления рисками. Широко используется практика финансирования кластеров через механизмы государственно-частного партнерства. С помощью метода маркетинговых исследований изучается спрос на внутреннем и внешнем рынках. Это позволяет разнообразить ассортимент выпускаемой продукции, повысить конкурентоспособность и расширить экспортный потенциал].

3. Результаты и обсуждение

Хлопково-текстильные кластеры являются важной экономической моделью, обеспечивающей вертикальную интеграцию в агропромышленном комплексе.

Данные таблицы показывают, что процесс организации хлопково-текстильных кластеров осуществляется поэтапно и системно. В частности, на начальном этапе важен анализ территориальных ресурсов и рыночных возможностей, который обеспечивает основу для принятия решений на более поздних этапах. На этапе планирования определяются объемы и направления производства, что является

решающим фактором в обеспечении экономической эффективности кластера. А на организационном этапе формируются взаимоотношения между участниками, создающие единую производственную цепочку. В то время как инвестиционная фаза обеспечивает финансовую стабильность кластера, фаза запуска представляет собой переход к практической деятельности. Фаза мониторинга, с другой стороны, позволяет постоянно оценивать и совершенствовать деятельность кластера. В целом, эти этапы неразрывно связаны, неэффективность одного из них негативно сказывается на эффективности всей системы.

Таблица 1

Этапы проектирования кластера

№	Название этапа	Содержание
1.	Этап анализа	Области, ресурсов и рынка
2.	Планирование	Определяющее объем и направление производства
3.	Организационный этап	Вовлечение участников
4.	Инвестиции	Формирование финансовых ресурсов
5.	Запуск	Запуск производства
6.	Мониторинг	Оценка эффективности

Таблица 2

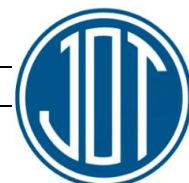
Сравнение методов проектирования

№	Метод	Преимущества	Недостатки
1.	Аналитический	Основан на точных данных	Это занимает много времени
2.	Моделирование	Предсказуемость	Сложный расчет
3.	Системный подход	Охватывает все элементы	Трудно поддается контролю
4.	Инновация	Высокая эффективность	Требует больших инвестиций
5.	Маркетинг	Гибкость рынка	Спрос варьируется

Данные, представленные в таблице, позволяют сравнить преимущества и недостатки различных методов при проектировании кластеров. Хотя аналитический метод надежно рассчитывается благодаря тому, что он основан на точных данных, его внедрение требует много времени.

Метод экономико-математического моделирования важен тем, что он предоставляет возможность прогнозирования, но его сложность может быть ограничением на практике. Системный подход охватывает все элементы кластера, но усложняет процесс управления.

Инновационный метод обеспечивает высокую эффективность, но требует значительных инвестиций. В



то время как маркетинговый метод позволяет адаптироваться к рыночному спросу, волатильность спроса в определенной степени сопряжена с рисками. Поэтому на практике наиболее эффективным подходом является применение этих методов в комплексе, а не по отдельности.

Таблица 3

Показатели экономической эффективности		
№	Показатели	Примечание
1.	Рентабельность	Норма прибыли
2.	Плодородие	Продукция на 1 работника
3.	Экспортная пошлина	Выход на внешний рынок
4.	Незабываемые впечатления	Переход от сырья к готовой продукции
5.	Рентабельность инвестиций (ROI)	Эффективность инвестиций

Показатели, представленные в таблице, служат основными критериями оценки эффективности деятельности кластера. В частности, уровень рентабельности отражает финансовые показатели кластера, в то время как производительность труда показывает эффект от использования ресурсов. В то время как доля экспорта определяет конкурентоспособность кластера на зарубежных рынках, показатель добавленной стоимости отражает глубину производственной цепочки. С другой стороны, рентабельность инвестиций (ROI) позволяет оценить степень эффективности использования инвестиций. Благодаря всестороннему анализу этих показателей можно выявить сильные и слабые стороны деятельности кластера и принять решения по их улучшению.

Для количественной оценки влияния кластеризации на эффективность хлопково-текстильной отрасли применяется эконометрическое моделирование.

В качестве зависимой переменной используется:

- (Y) — объём текстильного экспорта (млрд долл.)

Независимые переменные:

- (X_1) — уровень переработки хлопка (%)

- (X_2) — инвестиции в отрасль (млрд долл.)

- (X_3) — занятость в кластерах (тыс. чел.)

- (X_4) — уровень кластеризации (доля предприятий в кластерах, %)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon$$

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа влияния кластеризации на экспорт текстильной продукции
Зависимая переменная: Объём текстильного экспорта (млрд долл.)

	Переменные	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-value
1.	Константа (β_0)	0.52	0.21	2.48	0.018
2.	Уровень переработки (X_1)	0.94	0.27	3.48	0.002
3.	Инвестиции (X_2)	1.37	0.45	3.04	0.005

4.	Занятость (X_3)	0.28	0.12	2.33	0.026
5.	Уровень кластеризации (X_4)	1.85	0.39	4.74	0.000

Результаты регрессионного анализа свидетельствуют о высокой статистической значимости модели в целом ($\text{Prob}(F) < 0.01$), что подтверждает адекватность выбранной спецификации.

Коэффициент детерминации R^2 равен 0.89, что означает, что 89% вариации объёма текстильного экспорта объясняется включёнными в модель факторами.

Наиболее значимым фактором является уровень кластеризации ($\beta = 1.85$, $p < 0.01$), что указывает на ключевую роль интеграции предприятий в повышении экспортного потенциала отрасли. Уровень переработки хлопка также оказывает существенное положительное влияние ($\beta = 0.94$, $p < 0.01$), подтверждая важность формирования цепочки добавленной стоимости.

Инвестиции в отрасль демонстрируют значимый эффект ($\beta = 1.37$, $p < 0.01$), что отражает влияние модернизации производства на конкурентоспособность продукции.

Фактор занятости оказывает умеренное, но статистически значимое влияние ($\beta = 0.28$, $p < 0.05$), что свидетельствует о роли человеческого капитала в развитии отрасли.

Значение статистики Дарбина-Уотсона (1.98) указывает на отсутствие автокорреляции остатков, что подтверждает корректность модели.

Таким образом, разработанные методы проектирования хлопково-текстильных кластеров позволяют сформировать эффективную интегрированную систему агропромышленного производства.

Одним из основных факторов, определяющих экономическую эффективность хлопково-текстильных кластеров, является уровень формирования и развития цепочки создания добавленной стоимости. Цепочка создания добавленной стоимости представляет собой постепенное увеличение стоимости продукта на всех технологических этапах, от сырья до готовой продукции.

Научный анализ показывает, что на каждом последующем этапе переработки хлопкового сырья стоимость увеличивается на основе мультипликативного эффекта. В частности, если принять условную стоимость хлопка-сырца равной одной единице, то стоимость изделия из пряжи, полученного при его первоначальной обработке, увеличивается в 2-3 раза. На следующем этапе, то есть в текстильной промышленности, стоимость увеличивается в 4-5 раз в процессе изготовления марли. С другой стороны, наибольшая добавленная стоимость образуется при производстве готового текстиля, на этом этапе стоимость продукта может достигать 6-8 раз. Этот закон теоретически обосновывает экономическое превосходство кластерного подхода. То есть, чем выше уровень глубокой переработки сырья, тем больший объём добавленной стоимости создается в национальной экономике. В этом контексте модель экспорта только хлопка-сырца приводит к



неэффективному использованию ресурсов и ограничивает экономические возможности.

Поэтому в качестве ключевой стратегической задачи развития хлопково-текстильных кластеров определено охватить все этапы технологической цепочки и увеличить долю производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью.

Процесс проектирования и реализации хлопково-текстильных кластеров связан с многофакторной неопределенностью и сопряжен с различными экономическими, природными и институциональными рисками. Поэтому выявление, оценка и управление рисками имеют важное научное и практическое значение для обеспечения эффективности кластера. Экономические риски в первую очередь связаны с нестабильностью рыночной конъюнктуры, динамикой цен и нарушением равновесия спроса и предложения. В этом случае диверсификация видов продукции и освоение новых сегментов рынка является эффективным механизмом снижения рисков. Климатические риски, включая засуху, ограниченность водных ресурсов и погодные изменения, оказывают непосредственное влияние на сельскохозяйственное производство. Чтобы минимизировать эти риски, необходимо внедрять передовые агротехнологии, включая водосберегающие и интеллектуальные системы орошения.

Финансовые риски связаны с нехваткой инвестиционных ресурсов или их неэффективным использованием, что замедляет темпы развития кластера. Государственные субсидии, льготные кредиты и использование механизмов государственно-частного партнерства важны для преодоления этой проблемы. Технологические риски объясняются недостаточным внедрением устаревших производственных инструментов и инноваций. Поэтому важно ускорить процессы модернизации и применить результаты исследований на практике.

Рыночные риски, с другой стороны, связаны с усилением глобальной конкуренции и колебаниями спроса, которые устраняются за счет расширения географии экспорта и повышения качества продукции. Инновационные подходы являются одним из решающих факторов повышения конкурентоспособности хлопково-текстильных кластеров. В современных условиях эффективное функционирование кластеров тесно связано с цифровизацией, автоматизацией и внедрением интеллектуальных технологий. Цифровые агротехнологии позволяют эффективно использовать земельные ресурсы, прогнозировать урожайность и оптимизировать производственные затраты. Системы мониторинга, основанные на GPS и беспилотных технологиях, обеспечивают точное планирование и контроль агротехнических мероприятий.

Интеллектуальные ирригационные системы играют важную роль в экономии водных ресурсов и обеспечении экологической устойчивости. С другой стороны, системы ERP (планирования ресурсов предприятия) позволяют автоматизировать обмен информацией между участниками кластера и повысить эффективность управления.

Автоматизированные текстильные линии служат повышению производительности труда, снижению человеческого фактора и обеспечению стабильного качества продукции. В этом плане внедрение

инновационных технологий является ключевым фактором обеспечения долгосрочного устойчивого развития кластеров.

При организации хлопково-текстильных кластеров используются различные институциональные модели, и их эффективность будет зависеть от механизма управления, финансовых ресурсов и взаимоотношений между участниками.

В моделях, основанных на государственном управлении, стратегические решения принимаются централизованно, а государство выполняет свою роль главного инвестора и координатора. Хотя эта модель позволяет быстро развивать инфраструктуру, гибкость рыночных механизмов может быть ограниченной.

Однако в моделях частных кластеров приоритет отдается рыночным принципам, а инвестиции в основном осуществляются частным сектором. Это повышает эффективность и конкурентоспособность.

Модель государственно-частного партнерства является одним из наиболее эффективных подходов, при котором ресурсы и риски государственного и частного секторов распределяются совместно. Эта модель широко используется при реализации крупных инвестиционных проектов. С другой стороны, кооперативная модель направлена на расширение экономического потенциала фермерских хозяйств за счет консолидации и играет важную роль в поддержке мелких производителей.

4. Заключение

В заключение отметим, что проектирование хлопково-текстильных кластеров - это многогранный и сложный процесс, требующий гармонизации аналитического, экономико-математического, системного, инновационного и инвестиционного подходов. Благодаря эффективному использованию этих методов можно добиться высокой эффективности в агропромышленном комплексе, увеличить объемы экспорта и стабильно развивать национальную экономику.

Использованная литература / References

- [1] Porter M.E. Competitive Advantage of Nations. – New York: Free Press, 1990. – 855 p.
- [2] Enright M.J. Regional Clusters and Economic Development. – Harvard Business School, 2003. – 78–95 p.
- [3] Ketels C. Cluster Mapping as a Tool for Development. – Stockholm, 2013. – 45–60 p.
- [4] Data from the State Statistical Committee of the Republic of Uzbekistan. – Tashkent, 2020–2025. – 30–85 b.
- [5] Абдуллаев А., Қодиров Б. Агросаноат мажмуаси иқтисодиёти. – Тошкент: “Иқтисодиёт”, 2019. – 312 б.
- [6] Юсупов Р. Кишлоқ хўжалиги иқтисодиёти. – Тошкент, 2020. – 198 б.
- [7] World Bank. Uzbekistan Agricultural Modernization Report. – Washington DC, 2022. – 102–140 p.
- [8] FAO. Cotton Value Chain Analysis. – Rome, 2021. – 65–110 p.



Информация об авторах/ Information about the authors

Халматжанова Ферганский государственный
Гулчехра университет, профессор кафедры
Джурабаевна / «Мировой и региональной
Gulchekhra экономики».
Khalmatjanova E-mail: gulchexra1777@mail.ru
Тел. +998901621777
<https://orcid.org/0000-0002-9984-0899>



Analysis of methods for formalizing road traffic accidents

A.S. Rakhmanov¹, E.Kh. Abdusamatov¹, Sh.Kh. Shermatov¹, U.I. Isokhanov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article analyzes the methods of documenting road traffic accidents (RTAs) and provides a comparative analysis of traditional and modern approaches. Based on the experience of developed countries (European Union, USA, Japan, Singapore, China, and others), the study examines the Europrotocol, mobile applications, electronic protocols, drone technologies, and intelligent transportation systems (ITS) used in RTA documentation. Furthermore, the current legislation and practices in Uzbekistan are analyzed, identifying existing problems and ways to address them. The article concludes by proposing a phased automation model (short-term, medium-term, and long-term stages) adapted to the conditions of Uzbekistan. The implementation of the proposed measures would reduce RTA documentation time by 50–70%, decrease traffic congestion, and significantly improve road safety.

Keywords:

road traffic accident (RTA), RTA documentation, Europrotocol, mobile application, electronic protocol, drone technology, intelligent transportation system (ITS), automation, digitalization

Yo'l transport hodisasini rasmiylash usullari tahlili

Raxmonov A.S.¹, Abdusamatov E.X.¹, Sh.Kh. Shermatov¹, U.I. Isokhanov¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada yo'l-transport hodisalarini (YTH) rasmiylashtirish usullari tahlil qilinib, an'anaviy va zamonaviy yondashuvlarning qiyosiy tahlili keltirilgan. Dunyoning rivojlangan davlatlari (Yevropa Ittifoqi, AQSh, Yaponiya, Singapur, Xitoy va boshqalar) tajribasi asosida YTHni rasmiylashtirishda qo'llanilayotgan Yevroprotokol, mobil ilovalar, elektron protokollar, dron texnologiyalari va intellektual transport tizimlari (ITS) o'rganilgan. Shuningdek, O'zbekistonda amaldagi qonunchilik va amaliyot tahlil qilinib, mavjud muammolar va ularni bartaraf etish yo'nalishlari belgilangan. Maqola yakunida O'zbekiston sharoitiga moslashtirilgan bosqichma-bosqich avtomatlashtirish modeli (qisqa, o'rta va uzoq muddatli bosqichlar) taklif etilgan. Taklif etilgan chora-tadbirlar YTHni rasmiylashtirish vaqtini 50–70 foizga qisqartirish, yo'l tirbandliklarini kamaytirish va transport xavfsizligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar:

yo'l-transport hodisasi (YTH), YTHni rasmiylashtirish, Yevroprotokol, mobil ilova, elektron protokol, dron texnologiyasi, intellektual transport tizimi (ITS), avtomatlashtirish, raqamlashtirish

1. Kirish

So'nggi yillarda dunyo bo'ylab avtomobil transporti vositalari sonining keskin o'sishi yo'l-transport hodisalarini (YTH) sonining ham ortishiga olib keldi. YTH transport tizimining eng jiddiy muammolaridan biri bo'lib, u nafaqat tirbandliklar va vaqt yo'qotilishiga, balki inson hayoti va sog'lig'iga tahdid soladi. Shu sababli, YTHni tez, to'g'ri va qonuniy rasmiylashtirish masalasi dolzarb ahamiyat kasb etadi. YTHni rasmiylashtirish jarayoni transport oqimini tiklash, tirbandliklarni kamaytirish, hodisa sabablarini ob'ektiv aniqlash va sug'urta tizimining ishonchligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi.

O'zbekistonda ham so'nggi yillarda yo'l harakati xavfsizligini ta'minlash va transport tizimini raqamlashtirish sohasida muhim qonunchilik bazasi yaratilmoqda. Xususan, Prezidentning 2025-yil 4-dekabrda PQ-368-son "Toshkent shahrida transport tizimi boshqaruvini takomillashtirish hamda tirbandliklarning oldini olishga qaratilgan qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Qarorida intellektual svetoforlar bilan jihozlangan "aqlli" chorahalar

sonini 700 taga yetkazish va yagona boshqaruv tizimiga ega intellektual transport tizimini joriy etish vazifalari qo'yilgan [1].

Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 11-avgustdagi 354-son qarori bilan yo'l harakati xavfsizligini ta'minlash sohasiga zamonaviy axborot texnologiyalarini keng joriy etish bo'yicha "Yashil" va "Qizil" yo'lak tizimi takomillashtirilgan [2]. 2026-yil 30-martdagi 125-son qarori esa yo'l harakati qoidalarini buzganlik holatlari bo'yicha ma'muriy choralarni ko'rish tartibini raqamlashtirishni nazarda tutadi, jumladan, YAIDXP (my.gov.uz) va Yo'l harakati xavfsizligi xizmatining mobil ilovasi orqali xabardor qilish tizimi joriy etilgan.

Mazkur qarorlar YTHni rasmiylashtirish jarayonlarini avtomatlashtirish va raqamlashtirish uchun huquqiy asos yaratayotgan bo'lsa-da, bugungi kunda O'zbekistonda YTHni rasmiylashtirishning asosiy usuli sifatida an'anaviy (yo'l patrul xizmati xodimlari orqali) usul qo'llanilmoqda. Bu usul 60-120 daqiqa vaqt talab qiladi, bu esa rivojlangan mamlakatlarda qo'llanilayotgan zamonaviy usullarga nisbatan ancha past samaradorlikka ega [3].

^a <https://orcid.org/0000-0003-1640-8839>

^b <https://orcid.org/0009-0007-1194-9085>

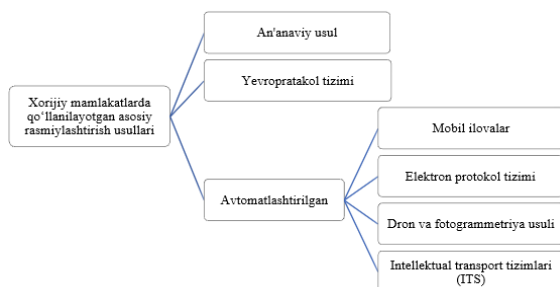
^c <https://orcid.org/0009-0007-8165-0097>

^d <https://orcid.org/0009-0008-0058-9560>



2. Tadqiqot metodologiyasi

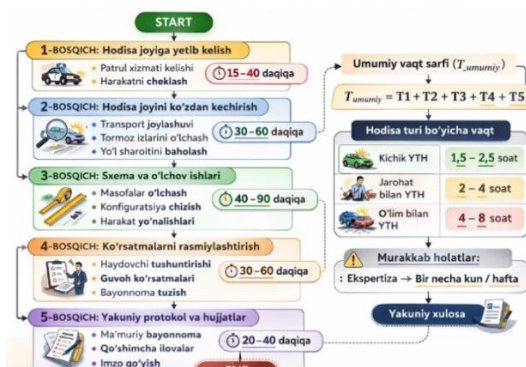
Dunyo bo'yicha yo'l-transport hodisalari (YTH) transport tizimining muhim muammolaridan biri hisoblanadi. YTHni tez va aniq rasmiylashtirish transport oqimini tez tiklash, tirbandliklarni kamaytirish hamda hodisa sabablarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli rivojlangan davlatlarda YTHni rasmiylashtirish jarayonini optimallashtirish bo'yicha turli zamonaviy usullar joriy etilgan.



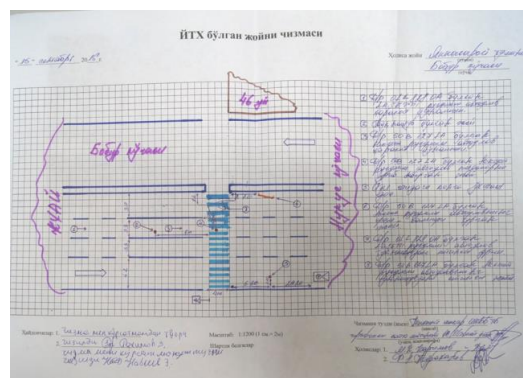
1-rasm. Xorijiy mamlakatlarda qo'llanilayotgan asosiy rasmiylashtirish usullari

An'anaviy usul. Ko'plab davlatlarda YTHni rasmiylashtirishning asosiy usuli Yo'l patrul xizmati xodimlari tomonidan amalga oshiriladi. YTH sodir bo'lganidan so'ng, ishtirokchilar voqea joyiga Davlat yo'l harakati xavfsizligi xizmati (Yo'l patrul xizmati) xodimlarini chaqiradilar. Xodimlar hodisa joyiga yetib kelib, hujjatlarni rasmiylashtirishni o'z zimmlariga oladilar. Rasmiylashtirish jarayonini quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiradilar:

- Hodisa joyini ko'zdan kechirish;
- YTH sxemasini chizish;
- Ishtirokchilar va guvohlarning tushuntirish xatlarini olish;
- Tegishli ma'muriy bayonnoma va boshqa hujjatlarni rasmiylashtirish.



2-rasm. YTHni ananaviy rasmiylashtirish blok-sxemasi



3-rasm. YTHni qo'lda rasmiylashtirish

Yevroprotokol tizimi — Yevropa Ittifoqi davlatlari

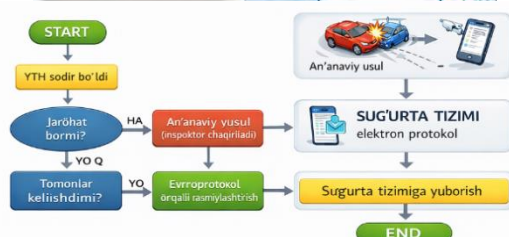
Yevroprotokol tizimi hozirda Yevropa Ittifoqining 27 a'zo davlatida, shuningdek Norvegiya, Shveysariya va Ukrainada qo'llaniladi. Fransiya barcha kichik YTHlarning 70 foizdan ortig'i yevroprotokol orqali rasmiylashtiriladi. Germaniya, Niderlandiya va Belgiyada esa raqamli yevroprotokol (e-CDA — electronic Constat d'Amiable) joriy etilgan bo'lib, haydovchilar qog'ozsiz ravishda smartfon orqali hujjatlarni to'ldiradilar. Rossiya va O'zbekiston ham ushbu tajribadan foydalanish yo'lida qonunchilik bazasini shakllantirmoqda.

Yevroprotokol — bu ikki transport vositasi ishtirokidagi, jabrlanuvchilar bo'lmagan va ishtirokchilar o'rtasida nizo mavjud bo'lmagan YTHlarni tez va qulay rasmiylashtirish usuli hisoblanadi. Haydovchilar maxsus blankani (yevroprotokol shaklini) birgalikda to'ldiradilar, hodisa sxemasini chizadilar va imzo qo'yadilar. Shundan so'ng ular yo'l harakati xodimlarini kutmasdan yo'llarida davom etishlari mumkin.

1-jadval

Yevroprotokolni qo'llash shartlari

Shart	Tavsifi
Ishtirokchilar soni	Faqat ikkita transport vositasi
Jabrlanganlar	Hayot va sog'liqqa zarar yetmagan bo'lishi
Sug'urta mavjudligi	Barcha ishtirokchilarning fuqarolik javobgarligi sug'urta qilingan
Kelishuv mavjudligi	Ishtirokchilar o'rtasida nizo bo'lmasligi
Haydovchi holati	Mast holatida bo'lmasligi
Hujjatlar mavjudligi	Haydovchilik guvohnomasi, ro'yxatdan o'tkazish guvohnomasi, yo'l varaqasi (yuridik shaxslar uchun)



4-rasm. Yo'l transport hodisasini an'anaviy va evropratakol orqali rasmiylashtirish blok sxemasi

Avtomatlashtirilgan tizimlarning dunyo bo'yicha tarqalishi

Zamonaviy avtomatlashtirilgan YTH rasmiylashtirish tizimlari dunyo'ning turli mamlakatlarida keng joriy etilmoqda. Quyida asosiy tizimlar va ularni faol qo'llayotgan davlatlar haqida batafsil ma'lumot keltirilgan.

Mobil ilova asosidagi tizimlar (Koreya, Singapur, Avstraliya)

Janubiy Koreya 2015-yildan boshlab "Smart Accident Reporting" mobil ilovasini keng joriy etgan bo'lib, haydovchilar hodisani ilova orqali 10–15 daqiqada rasmiylashtirishlari mumkin. GPS koordinatalar, fotosuratlar va sug'urta ma'lumotlari avtomatik ravishda tizimga jo'natiladi. Singapur esa 2018-yildan "OneMotoring" platformasini yangilab, barcha YTH ma'lumotlarini yagona raqamli tizimga birlashtirgan. Avstraliyaning Yangi Janubiy Uels shtatida "Crash Report Online" tizimi 2019-yildan ishga tushirilgan va hozir ushbu tizim orqali shtatdagi YTHlarning 40 foizdan ortig'i rasmiylashtirilmoqda.

Elektron protokol tizimlari (AQSh, Germaniya, Buyuk Britaniya)

AQShning ko'plab shtatlarida, xususan Kaliforniya, Texas va Florida shtatlarida politsiya xodimlari planshetlar orqali to'liq raqamli protokol to'ldiradilar. "Electronic Crash Reporting System" (eCRS) tizimi hodisa joyidanoq markaziy ma'lumotlar bazasiga ulanadi. Germaniyada "MEMO" (Mobile Electronic Mobility Officer) tizimi 2017-yildan barcha federal yerlar bo'yicha standartlashtirilgan bo'lib, hodisani rasmiylashtirish vaqtini o'rtacha 35 foizga qisqartirgan. Buyuk Britaniyada esa "CRASH" (Collision Recording and Sharing) tizimi butun mamlakat bo'ylab yagona standartda ishlaydi va yillik 150 000 dan ortiq hodisa ushbu tizimda qayd etiladi.

Dron (UAV) texnologiyasi (AQSh, Xitoy, BAA)

AQShda Nevada va Arizona shtatlarida dronlar YTH joyini aerofotosurga olish va 3D-model yaratish uchun 2016-yildan keng foydalanilmoqda. Bu texnologiya hodisa joyida yo'lni yopib turish vaqtini o'rtacha 80 foizga

qisqartirgan. Xitoyda esa davlat dasturi doirasida 2020-yildan Shanghai, Pekin va Guangzhou shaharlarida dronlar markazlashgan monitoring tizimi bilan birgalikda ishlatilmoqda — hodisa aniqlangandan 3 daqiqa ichida dron joyga yetib boradi. Birlashgan Arab Amirliklarida Dubai politsiyasi 2021-yildan "Smart Accident Investigation" dasturi doirasida dron va sun'iy intellektni birgalikda qo'llaydi.

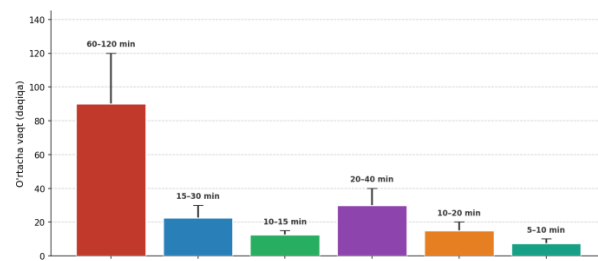
ITS (Intelligent Transportation System) — Yaponiya, Niderlandiya, Finlandiya

Yaponiya ITS sohasida dunyo yetakchisi bo'lib, "VICS" (Vehicle Information and Communication System) tizimi 1996-yildan joriy etilgan va hozirda 40 million dan ortiq avtomobil ushbu tizimga ulangan. YTH sodir bo'lishi bilan trafik markazlari avtomatik ravishda xabardor etiladi va yo'naltirishlar o'zgartiriladi. Niderlandiyada "Nationaal Dataportal Wegverkeer" platformasi barcha yo'l hodisalarini real vaqt rejimida kuzatadi. Finlandiyada 2022-yildan "Digitraffic" tizimi YTH ma'lumotlarini avtomatik ravishda sug'urta kompaniyalari, tibbiy xizmatlar va yo'l xizmatlari bilan ulashadi.

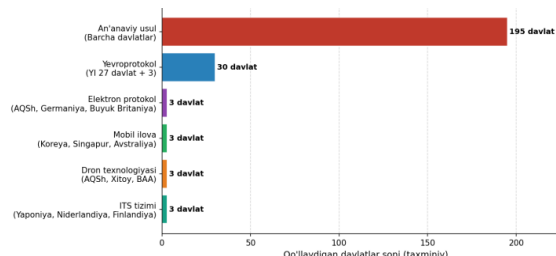
2-jadval

Xorijiy usullarni solishtirma tahlili

Usul	Davlatlar	O'rtacha vaqt
An'anaviy usul	Barcha davlatlar	60–120 min
Yevroprotokol	Yevropa	15–30 min
Mobil ilova	Koreya, Singapur	10–15 min
Elektron protokol	AQSh, Germaniya	20–40 min
Dron texnologiyasi	AQSh, Xitoy	10–20 min
ITS tizimi	Yaponiya	5–10 min

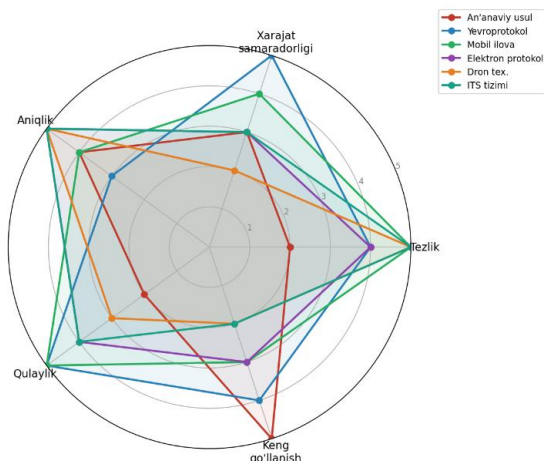


5-rasm. Rasmiylashtirish usullari bo'yicha o'rtacha vaqt taqqoslash (daqiqalar)



6-rasm. Har bir tizimni qo'llaydigan davlatlar soni





7-rasm. Tizimlar ko'rsatkichlari taqqoslash (1–5 ball)

KUCHLI TOMONLARI (S) - Vaqtni 40-80 % ga qisqartirish - Insonning xatosini kamaytirish - Real vaqt monitoring - Ma'lumotlar aniqligining yuqoriligi - Transport oqimini tez tiklash	IMKONIYATLAR (O) - O'zbekistonda joriy etish imkoniyati - Sug'urta sektori integratsiyasi - Smart city dasturi bilan bog'lash - YTH statistikasini yaxshilash - Xalqaro tajribadan foydalanish
ZAIF TOMONLARI (W) - Yuqori boshlang'ich xarajat - Texnik infratuzilma talab qiladi - Xadimlarni qayta tayyorlash - Internet ulanishga bog'liqlik - Kiberxavfsizlik	TAHDITLAR (T) - Qonunchilik bazasi yetarli emasligi - Raqamli savotsizlik - Tizim nosozliklari xavfi - Maxfiylik muammolari - Moliyaviy resurslar cheklangan

8-rasm. Avtomatlashtirilgan YTH tizimlarining SWOT tahlili

Dunyo tajribasi shuni ko'rsatadiki, YTHni rasmiylashtirish jarayonini avtomatlashtirish nafaqat vaqtni tejaydi, balki ma'lumotlar aniqligini oshiradi, inson omili xatolarini kamaytiradi va transport oqimini tezroq tiklashga yordam beradi. Rivojlangan davlatlarda ushbu tizimlarni joriy etish natijasida hodisa joyini bo'shatish vaqti o'rtacha 40–60 foizga qisqargan. Shu sababli O'zbekistonda ham xorijiy tajribadan kelib chiqqan holda bosqichma-bosqich avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish maqsadga muvofiqdir.

3. Xulosa

Dunyo tajribasini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, YTHni rasmiylashtirish jarayonini avtomatlashtirish zamonaviy transport tizimining ajralmas qismiga aylanib bormoqda. Turli mamlakatlarda joriy etilgan tizimlar — Yevroprotokol, mobil ilovalar, elektron protokollar, dron texnologiyasi va ITS — o'ziga xos afzalliklariga ega bo'lib, har biri ma'lum sharoit va infratuzilmaga mos keladi.

Taqqoslama tahlil ko'rsatadiki, eng yuqori samaradorlikni ITS tizimlari (5–10 daqiqa) va mobil ilovalar (10–15 daqiqa) ta'minlaydi. Yevroprotokol esa xarajat samaradorligi va qulaylik jihatidan yetakchi o'rinni egallaydi. An'anaviy usul hali ham barcha davlatlarda asosiy zaxira sifatida qo'llaniladi, ammo uning 60–120 daqiqalik vaqt sarfi iqtisodiy zarar keltirmoqda. YTHni rasmiylashtirish jarayonini avtomatlashtirish nafaqat vaqtni tejaydi, balki ma'lumotlar aniqligini oshiradi, inson omili xatolarini kamaytiradi va transport oqimini tezroq tiklashga yordam beradi. Rivojlangan davlatlarda ushbu tizimlarni joriy etish natijasida hodisa joyini bo'shatish vaqti o'rtacha

40–60 foizga qisqargan. Shu sababli O'zbekistonda ham xorijiy tajribadan kelib chiqqan holda bosqichma-bosqich avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish maqsadga muvofiqdir.

O'zbekistonda YTHni rasmiylashtirish tizimini modernizatsiya qilish uchun quyidagi bosqichma-bosqich yondashuv tavsiya etiladi:

1-bosqich (qisqa muddatli, 1–2 yil): Yevroprotokol tizimini O'zbekiston sharoitiga moslashtirib joriy etish. Aholini ushbu tizim qoidalarini bilan tanishtirish uchun keng ko'lamli axborot kampaniyasi o'tkazish. Sug'urta kompaniyalari bilan integratsiyani ta'minlash.

2-bosqich (o'rta muddatli, 2–4 yil): Toshkent va yirik shaharlar uchun maxsus mobil ilova ishlab chiqish va sinovdan o'tkazish. GPS, kamera va sun'iy intellektga asoslangan hodisa qayd etish tizimini ishga tushirish. Politsiya xodimlari uchun planshet asosidagi elektron protokollarni joriy etish.

3-bosqich (uzoq muddatli, 4–7 yil): Respublika bo'ylab ITS elementlarini (aqlli svetoforlar, yo'l kameralari, sensor tarmoqlari) bosqichma-bosqich o'rnatish. YTH ma'lumotlar bazasini sug'urta, tibbiy xizmatlar va favqulodda vaziyatlar vazirligi bilan ulash. Xorijiy davlatlar tajribasini o'rganish va hamkorlik shartnomalarini tuzish.

Ushbu tadbirlarni amalga oshirish natijasida O'zbekistonda YTHni rasmiylashtirish vaqtini 50–70 foizga qisqartirish, yo'l tirbandliklarini kamaytirish va transport xavfsizligini sezilarli darajada oshirish mumkin bo'ladi. Bu esa mamlakatning raqamli iqtisodiyot va aqlli shahar (Smart City) strategik yo'nalishlariga ham mos keladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 4-dekabrda PQ-368-son "Toshkent shahrida transport tizimi boshqaruvini takomillashtirish hamda tirbandliklarning oldini olishga qaratilgan qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 11-avgustdagi 354-son Qarori. "Yo'l harakati xavfsizligini ta'minlash sohasiga zamonaviy axborot texnologiyalarini keng joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida".
- [3] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2026-yil 30-martdagi 125-son qarori esa yo'l harakati qoidalarini buzganlik holatlari bo'yicha ma'muriy choralarni ko'rish tartibini raqamlashtirish.
- [4] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2020). Glossary for Transport Statistics. 5th Edition. Geneva: UNECE.
- [5] European Commission. (2019). Study on the application of the European Accident Report (Europrotocol) in EU Member States. Brussels: Directorate-General for Mobility and Transport.
- [6] Kim, S., & Lee, J. (2018). "Smart Accident Reporting System Using Mobile Application in South Korea". Journal of Transportation Technologies, 8(3), 215–226.
- [7] Federal Highway Administration (FHWA). (2021). Electronic Crash Reporting System (eCRS): Best

Practices and Implementation Guide. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.

[8] German Federal Ministry of Transport. (2020). MEMO – Mobile Electronic Mobility Officer: Digital Accident Recording in Germany. Berlin: BMVI.

[9] Transport for NSW. (2022). Crash Report Online System: Evaluation Report. Sydney: Transport for New South Wales, Australia.

[10] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (2021). VICS – Vehicle Information and Communication System in Japan: 25 Years of Experience. Tokyo: MLIT.

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

Raxmonov Toshkent davlat transport
Azimjon / universiteti, "Transport
Azimjon intellektual tizimlari
Rakhmonov muhandisligi" kafedrası PhD
dotsrnt
E-mail:
azimjonraxmonov81@gmail.com
Tel: +998974308920
<https://orcid.org/0000-0003-1640-8839>

Abdusamatov Toshkent davlat transport
Erkinjon / universiteti, doktorant
Erkinjon E-mail:
Abdusamatov erikxalilovich9793@mail.ru
Tel: +998901131112
<https://orcid.org/0009-0007-1194-9085>

Shermatov Toshkent davlat transport
Shamshir / universiteti, "Transport
Shamshir intellektual tizimlari
Shermatov muhandisligi" kafedrası dotsent
v.b.
E-mail: shamsher@inbox.ru
Tel: +998977732200
<https://orcid.org/0009-0007-8165-0097>

Isoxanov Utkir / Toshkent davlat transport
Utkir Isokhanov universiteti universiteti
"Transport intellektual tizimlari
muhandisligi" kafedrası dotsent
v.b.
E-mail:
utkirisohanov71@gmail.com
Tel: +998977377398
<https://orcid.org/0009-0008-0058-9560>



Analysis of the application of renewable energy sources in metro systems

A.T. Lesov¹^a, S.U. Yuldasheva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Urban metro systems are among the most energy-intensive elements of urban infrastructure, requiring efficient solutions to reduce operational costs and environmental impact. This study presents a comparative and analytical assessment of three key technologies for improving metro energy efficiency: solar photovoltaic (PV) generation, regenerative braking, and battery energy storage systems (BESS). Based on international case studies and technical literature, the operational characteristics, energy-saving potential, and technological limitations of each approach are examined. The analysis shows that while individual technologies provide measurable benefits, their combined implementation within an integrated energy management framework can significantly enhance overall system performance. In particular, the integration of PV, regenerative braking, and BESS enables the formation of a localized energy system capable of improving load balancing and reducing peak demand. A qualitative assessment of applicability for the Tashkent Metro suggests that a phased implementation of these technologies may substantially improve energy efficiency and increase the utilization of recovered energy. The study highlights the technical feasibility and practical relevance of integrated energy solutions for metro systems operating under conditions similar to those of Central Asia.

Keywords: metro systems, renewable energy, solar power generation, regenerative braking, energy storage systems, energy efficiency, transport decarbonization

Анализ применения возобновляемых источников энергии в системах метрополитена

Лесов А.Т.¹^a, Юлдашева С.У.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Системы городского метрополитена - одни из самых энергоёмких элементов городской инфраструктуры, требующие эффективных решений для снижения эксплуатационных расходов и воздействия на окружающую среду. В данном исследовании представлена сравнительно-аналитическая оценка трёх ключевых технологий повышения энергоэффективности метрополитена: солнечной фотоэлектрической генерации, рекуперативного торможения и аккумуляторных систем накопления энергии (BESS). На основе анализа международных примеров и технической литературы рассматриваются эксплуатационные характеристики, потенциал энергосбережения и технологические ограничения каждого подхода. Анализ показывает, что, хотя отдельные технологии и обеспечивают ощутимые преимущества, их совместное внедрение в рамках комплексной системы управления энергопотреблением способно значительно повысить общую производительность. В частности, интеграция фотоэлектрических систем, рекуперативного торможения и BESS позволяет сформировать локальную энергосистему, способную улучшить балансировку нагрузки и снизить пиковое потребление. Качественная оценка применимости для Ташкентского метрополитена показывает, что поэтапное внедрение этих технологий может существенно повысить энергоэффективность и увеличить степень утилизации рекуперированной энергии. Исследование подчёркивает техническую осуществимость и практическую значимость комплексных энергетических решений для систем метрополитена, работающих в условиях, схожих с условиями Центральной Азии.

Ключевые слова: метрополитен, возобновляемые источники энергии, солнечная генерация, рекуперация энергии, системы накопления энергии, энергоэффективность, декарбонизация транспорта

1. Введение

Системы городского рельсового транспорта, в частности метрополитен, играют ключевую роль в обеспечении устойчивой мобильности в крупных

городах. В то же время метрополитен является одним из самых энергоёмких элементов городской инфраструктуры из-за высокой интенсивности движения поездов, большого количества станционных сооружений и непрерывной работы вспомогательного

 <https://orcid.org/0009-0002-7644-3476>



оборудования [4,14]. На тяговое электроснабжение, как правило, приходится до 60-70% от общего объёма энергопотребления, а оставшаяся доля расходуется на станционную инфраструктуру, такую как системы вентиляции, освещение, эскалаторы и кондиционирование воздуха [5]. По мере расширения сетей метро и роста пассажиропотока общее потребление электроэнергии этими системами продолжает расти, создавая дополнительную нагрузку на городские энергосистемы и операционные бюджеты транспортных ведомств [21].

В последние годы повышение энергоэффективности метрополитена стало важной задачей политики в области устойчивого развития городского транспорта. Одним из наиболее перспективных подходов является внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и передовых технологий управления энергопотреблением в инфраструктуру метро. Солнечная фотоэлектрическая генерация, системы рекуперативного торможения и технологии BESS позволяют операторам метрополитена возвращать часть энергии, расходуемой на движение поездов, и снижать зависимость от электроэнергии, поставляемой из внешних сетей. Эти решения также способствуют сокращению выбросов парниковых газов и повышению экологической устойчивости систем общественного транспорта [3,10].

Мировая практика демонстрирует растущий интерес к использованию технологий возобновляемой энергетики в системах метрополитена. Многие операторы метрополитенов начали устанавливать фотоэлектрические панели на крышах станций и зданиях депо, внедрять системы рекуперативного торможения для возврата энергии тяговой сети и монтировать аккумуляторные системы накопления энергии для стабилизации электроснабжения. Например, солнечная генерация была успешно интегрирована в инфраструктуру метрополитена в ряде городов Европы и Азии, а передовые технологии рекуперативного торможения широко применяются в Японии и Южной Корее для повышения эффективности использования тяговой энергии. Кроме того, современные аккумуляторные системы накопления энергии все чаще используются для аккумуляции избыточной энергии и ее перераспределения в периоды пиковых нагрузок [6,16].

Несмотря на рост числа технологических решений, уровень их внедрения и эффективность интеграции ВИЭ существенно различаются в зависимости от местных климатических условий, особенностей инфраструктуры и эксплуатационных параметров метрополитена. Для городов с высоким уровнем солнечной радиации и растущим спросом на городской транспорт комплексное применение солнечной генерации, рекуперативного торможения и BESS может стать особенно перспективной стратегией повышения энергоэффективности.

В связи с этим целью настоящего исследования является анализ технологических подходов к интеграции ВИЭ в системы метрополитена на основе мирового опыта, а также оценка потенциальной применимости данных решений для повышения энергоэффективности Ташкентского метрополитена.

2. Методика исследования

В основе данного исследования лежит сравнительная и аналитическая оценка технологических решений по интеграции ВИЭ в системы метрополитена. Методология исследования сочетает в себе обзор международного опыта и технический анализ основных энергосберегающих технологий, применяемых в инфраструктуре городского рельсового транспорта.

В исследовании рассматриваются три ключевых технологических направления, широко используемых в современных системах метрополитена: солнечная фотоэлектрическая генерация, технологии рекуперативного торможения и BESS. Для определения эксплуатационных характеристик, потенциала энергоэффективности и технологических ограничений данных решений был проведён анализ данных из международных тематических исследований, научных публикаций и технических отчётов [3,10,16,20].

Кроме того, исследование включает оценку применимости этих технологий к условиям Ташкентского метрополитена. В этой оценке учитываются региональные климатические условия, в частности потенциал солнечной радиации, а также общие эксплуатационные характеристики метрополитена, такие как интенсивность движения поездов, потребность в тяговой энергии и конфигурация инфраструктуры [9].

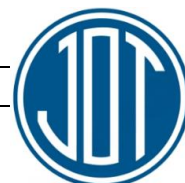
Сочетание анализа международных технологий и оценки местных условий позволяет определить наиболее перспективные подходы к повышению энергоэффективности систем метрополитена в городах с климатическими и инфраструктурными условиями, схожими с Ташкентом.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Интеграция солнечной энергии в системы метрополитена

В основе данного исследования лежит Солнечные фотоэлектрические системы - одна из наиболее широко распространенных технологий ВИЭ в инфраструктуре городского рельсового транспорта. В метрополитенах фотоэлектрические панели, как правило, устанавливаются на крышах станций и зданий депо, а также на эстакадных конструкциях вдоль линий. Вырабатываемая электроэнергия преобразуется с помощью инверторов и может использоваться как для питания вспомогательных систем станций - освещения, вентиляции, эскалаторов и кондиционирования воздуха, - так и частично интегрироваться в сети тягового электроснабжения [3].

Международный опыт показывает, что внедрение солнечной энергетики в инфраструктуру метрополитена может значительно сократить потребление электроэнергии из внешних сетей. Ярким примером является проект Barcelona MetroCHARGE, в рамках которого на 16 станциях метро были установлены кровельные фотоэлектрические системы, интегрированные с технологиями рекуперативного торможения. Согласно отчетам по проекту, комбинированная система позволяет покрывать около 33-41% энергопотребления поездов и полностью обеспечивать электроэнергией 28 станций. Кроме того,



избыточная электроэнергия используется для питания общественных зарядных станций для электромобилей, расположенных рядом с объектами метрополитена. В результате реализация проекта позволяет добиться сокращения выбросов CO₂ примерно на 3,9 тыс. тонн в год, при этом общее потребление электроэнергии в системе метрополитена снижается приблизительно на 6% [19].

Масштабное внедрение кровельных солнечных систем наблюдается и в азиатских метрополитенах, особенно в Китае. Быстрое наращивание мощностей солнечной генерации в последние годы позволило интегрировать распределенные фотоэлектрические системы на объектах транспортной инфраструктуры, включая станции и депо метрополитена. Однако в регионах с высоким уровнем запыленности эффективность солнечных панелей может значительно снижаться. Для решения этой проблемы в современных установках все чаще применяются гидрофобные покрытия и автоматизированные системы очистки, которые сокращают потери эффективности с 20-30% до 5-10% [8].

С технологической точки зрения, производство электроэнергии с помощью солнечных панелей в системах метрополитена имеет ряд преимуществ, включая относительно низкие эксплуатационные расходы, модульность и возможность масштабирования, а также совместимость с существующей электроэнергетической инфраструктурой. В то же время переменчивый характер солнечной генерации требует применения дополнительных технологий, таких как рекуперативное торможение и BESS, для обеспечения стабильного и эффективного управления энергопотреблением.

3.2. Технологии рекуперативного торможения в метрополитене

Рекуперативное торможение - одна из наиболее эффективных и общепризнанных технологий повышения энергоэффективности систем электрического рельсового транспорта.

Во время замедления тяговые двигатели работают в режиме генераторов, преобразуя кинетическую энергию в электрическую, которая может быть возвращена в тяговую электросеть. В обычных системах, не предусматривающих рекуперацию, эта энергия рассеивается в виде тепла на тормозных резисторах [3,6,10,16].

Современные системы рекуперации позволяют либо напрямую использовать возвращенную энергию другими ускоряющимися поездами на том же электрифицированном участке, либо накапливать ее в системе накопления энергии для последующего использования. Фактическая эффективность зависит от интервала движения поездов, конфигурации сети и характеристик тяговой инфраструктуры.

Хорошо задокументированный пример крупномасштабного внедрения - системы Токийского метрополитена и линии Оэдо (Toei Oedo Line) в Японии, где рекуперативное торможение применяется с 1980-х годов. Благодаря малым интервалам движения (2-3 минуты) до 70-90% рекуперированной энергии немедленно потребляется соседними поездами, что обеспечивает экономию энергии на тягу в размере 20-30% [16-18].

Другим передовым решением является технология

рекуперативного торможения до полной остановки (Zero-Speed Regenerative Braking), внедренная на второй линии Сеульского метрополитена (Южная Корея). Эта система обеспечивает рекуперацию энергии вплоть до полной остановки поезда. Эксплуатационные данные показывают, что состав из десяти вагонов рекуперировывает около 20,8 кВт·ч за один цикл торможения, что обеспечивает годовую экономию почти 0,917 ГВт·ч в масштабах всего парка, а также снижает износ механических тормозов, уровень шума и выбросы твердых частиц [11, 15].

В устаревших системах метрополитена, построенных в 1970-1990-х годах, таких как Ташкентский метрополитен, текущий коэффициент рекуперации без модернизации тяговых преобразователей и внедрения систем накопления энергии составляет всего 10-15%. При соответствующей модернизации систем управления тягой и добавлении систем накопления энергии, этот показатель может быть увеличен до 30-40% [10].

3.3 Системы накопления энергии в инфраструктуре метрополитена

Аккумуляторные системы накопления энергии играют ключевую роль в современном управлении энергопотреблением метрополитена, решая проблему прерывистого характера как рекуперативного торможения, так и фотоэлектрической генерации. В то время как энергия рекуперации вырабатывается только при торможении, а солнечная энергия доступна только в светлое время суток, BESS позволяют накапливать избыточную электроэнергию и перераспределять её во времени для использования в периоды пикового тягового потребления [11].

Блоки BESS, как правило, размещаются либо на тяговых подстанциях (стационарно), либо непосредственно на поездах (на борту). Их основные функции: (1) поглощение энергии рекуперативного торможения, которая не может быть немедленно использована другими поездами на той же секции электроснабжения, и (2) стабилизация напряжения и сглаживание пиковых нагрузок.

Международный опыт демонстрирует значительное повышение эффективности. В метрополитене Дели (Индия) интеграция 170 МВт кровельных фотоэлектрических панелей с литий-ионными BESS общей ёмкостью 680 МВт·ч обеспечивает ежегодную экономию энергии примерно на 20-25% по совокупным тяговым и вспомогательным нагрузкам, одновременно снижая плату за пиковое потребление [17]. В Кобе (Япония) стационарная система В-СНОР (на литий-ионных аккумуляторах) с момента ввода в эксплуатацию обеспечила годовую экономию энергии в размере 358 МВт·ч, доказав эффективность стационарных накопителей в плотных городских сетях [16,17].

С технической точки зрения, сочетание фотоэлектрической генерации, рекуперативного торможения и BESS образует локализованную микросеть, способную к балансировке энергии практически в реальном времени. Исследования показывают, что правильная интеграция BESS может повысить общую энергоэффективность тяги на 15-25% и поднять коэффициент использования рекуперированной энергии с 25-35% до 40-55% [10,11].

Для метрополитенов в регионах с высоким уровнем



солнечной инсоляции и устаревшей инфраструктурой, таких как Ташкент, стратегическое размещение стационарных BESS представляется особенно перспективным. Это позволяет накапливать как избыток солнечной энергии, так и энергию рекуперации, не требуя немедленной модернизации всего парка подвижного состава.

Применимость для Ташкентского метрополитена

Ташкентский метрополитен - это типичная система старого образца, построенная в 1970-1990-х годах, с умеренной интенсивностью движения поездов (интервалы 3-5 минут) и устаревшим тяговым оборудованием. Регион обладает превосходными солнечными ресурсами: годовой уровень суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность варьируется от 1900 до 2100 кВт·ч/м² [9].

Фотоэлектрические установки, размещенные на крышах зданий и в депо, могут реально покрыть 12-18% вспомогательных нагрузок на станциях и в депо (освещение, вентиляция, эскалаторы). В сочетании с внедрением энергоэффективного светодиодного освещения и модернизацией систем вентиляции позволит на начальном этапе снизить общую потребность в электроэнергии из сети на 3-5%.

Эффективность рекуперативного торможения у существующего подвижного состава в настоящее время ограничена 10-15% из-за устаревших инверторов и низкой восприимчивости тяговой сети. Однако модернизация систем управления тяговым приводом в сочетании с развертыванием стационарных BESS может повысить коэффициент рекуперации до 30-35% [10].

Такая гибридная система также поддерживает стратегию поэтапной модернизации: существующий проект АИВ по строительству солнечной электростанции мощностью 100 МВт [1] может послужить основой, а стационарные BESS могут быть внедрены без немедленной полной замены парка подвижного состава. Этот подход минимизирует первоначальные капитальные затраты и позволяет постепенно обновлять поезда в будущем.

Таким образом, комбинированная стратегия, основанная на солнечной генерации, усовершенствованном рекуперативном торможении и стационарных BESS, является как технически реализуемой, так и экономически обоснованной для Ташкентского метрополитена. Она предлагает реалистичный путь к повышению энергоэффективности, эксплуатационной надежности и экологических показателей в соответствии с национальными целями Узбекистана в области возобновляемой энергетики на 2030 год [13].

4. Заключение

Интеграция фотоэлектрической генерации, рекуперативного торможения и BESS представляет собой проверенный способ значительно повысить энергоэффективность и обеспечить декарбонизацию работы метрополитена. Международный опыт показывает, что такой комплексный подход может повысить энергоэффективность тяги на 12-18%, увеличить коэффициент рекуперации энергии с 10-15% до 30-35% и обеспечить более высокую эксплуатационную устойчивость.

Для Ташкентского метрополитена, с его устаревшей инфраструктурой и высоким потенциалом солнечной энергии, подобная интегрированная система не только технически осуществима, но и экономически оправдана. Она предоставляет реальную возможность снизить зависимость от электросетей, сократить эксплуатационные расходы и способствовать достижению национального целевого показателя Узбекистана по доле возобновляемой энергетики в 40% к 2030 году.

На основе проведенного анализа рекомендуется следующая поэтапная дорожная карта:

1. Краткосрочный этап (2026-2027 гг.)

Завершить проект АИВ по строительству солнечной электростанции мощностью 100 МВт, предусмотрев меры по защите от пыли, и установить пилотные путевые системы BESS (50-75 МВт·ч) на 2-3 ключевых тяговых подстанциях для аккумулирования избыточной рекуперативной и солнечной энергии.

2. Среднесрочный этап (2027-2028 гг.)

Модернизировать тяговые инверторы и системы управления на наиболее загруженных линиях (Чиланзарской и Юнусабадской) для повышения эффективности рекуперативного торможения до 25-30%.

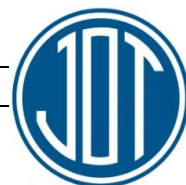
3. Долгосрочный этап (2028-2030 гг.)

Масштабировать гибридную микросеть (фотоэлектрическая генерация - рекуперация - BESS) на всю сеть метрополитена с целью достичь 50-70% покрытия потребности за счет возобновляемых источников энергии. Внедрить интеллектуальное управление энергопотреблением и мониторинг на базе IoT.

Реализация данной дорожной карты позволит Ташкентскому метрополитену стать одной из самых энергоэффективных и экологически ответственных систем городского рельсового транспорта в Центральной Азии. Это обеспечит ежегодную экономию электроэнергии в размере 15-20%, сократит выбросы CO₂ на десятки тысяч тонн и послужит образцом для других городов региона.

Использованная литература / References

- [1] Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB). Uzbekistan: Tashkent Metro Solar Power Development Project, 2023–2026. URL: <https://www.aiib.org/en/projects/details/2023/special-fund/Uzbekistan-Tashkent-Metro-Solar-Power-Development-Project.html> (дата обращения: 19.03.2026).
- [2] Government of Japan. Using regenerated energy from trains, 2015. URL: https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201502/201502_04_en.html (дата обращения: 09.03.2026).
- [3] González-Gil A., Palacin R., Batty P. Sustainable urban rail systems: strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy // Energy Conversion and Management. 2013. Vol. 75. P. 374–388.
- [4] Günselmann W. Technologies for increased energy efficiency in railway systems // European Conference on Power Electronics and Applications. 2005. P. 1–10.



[5] Hill R. J. Electric railway traction. Part 3. Traction power supplies // Power Engineering Journal. 1994. Vol. 8, No. 6. P. 275–286.

[6] Hu J., Zhao Y., Liu X. The design of regeneration braking system in light rail vehicle using energy-storage ultra-capacitor // IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). 2008. P. 1–5.

[7] Hyundai Rotem. Hyundai Rotem's new braking technology acquires green certification, 2022. URL: <https://www.kedglobal.com/esg/newsView/ked202212270010> (дата обращения: 09.03.2026).

[8] International Energy Agency (IEA). Renewables 2024: Global overview, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024> (дата обращения: 09.03.2026).

[9] International Renewable Energy Agency (IRENA). Uzbekistan – Renewable Energy Country Profile, 2025. URL: https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Asia/Uzbekistan_Asia_RE_SP.pdf (дата обращения: 12.03.2026).

[10] Khodaparastan M., Mohamed A. A., Brandauer W. Recuperation of regenerative braking energy in electric rail transit systems // arXiv. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1808.05938> (дата обращения: 12.03.2026).

[11] Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and their application potential in power systems // Applied Energy. 2015. Vol. 137. P. 511–536.

[12] Mercom India. Delhi Metro invites bids to procure 170 MW solar + 680 MWh BESS, 2025. URL: <https://mercomindia.com/delhi-metro-invites-bids-to-procure-170-mw-solar-680-mwh-bess> (дата обращения: 19.03.2026).

[13] Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Roadmap Uzbekistan 2030, 2025.

[14] Ogasa M. Energy saving and environmental measures in railway technologies: example with hybrid electric railway vehicles // IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering. 2008. Vol. 3, No. 1. P. 15–20.

[15] Seoul Transportation Corporation. Electric train specifications and zero-speed regenerative braking technology, 2025. URL: <https://en.namu.wiki/w/서울교통공사%20전동차> (дата обращения: 09.03.2026).

[16] Shimada M., Oishi R., Araki D., Nakamura Y. Energy storage system for effective use of regenerative

energy in electrified railways // Hitachi Review. 2010. Vol. 59, No. 1. P. 33–38.

[17] Takahashi H., Kim Y. I. Current and future applications for regenerative energy storage systems // Hitachi Review. 2012. Vol. 61, No. 7. P. 336–340.

[18] Tokyo Metropolitan Government. Tokyo transport energy initiatives: local power generation and regenerative braking, 2025. URL: <https://www.g-nets.metro.tokyo.lg.jp/en/insights/202510-casestudies-transportenergy.html> (дата обращения: 09.03.2026).

[19] Wilson J. Barcelona subway recycles energy from braking into power to charge electric cars // AP News. 2024. URL: <https://apnews.com/article/spain-climate-subway-electric-cars-barcelona-energy-69cf7212fa8d5e3e4d45d62a2f97c6dd> (дата обращения: 09.03.2026).

[20] Xu Y., Mi Y., Zhang Z. Energy regeneration based on supercapacitor direct connection for wound-field brushless DC motors // IEEE Transactions on Power Electronics. 2026. Vol. 41, No. 6. P. 10177–10187.

[21] Тошкент метрополитени. Метро статистика [Электронный ресурс]. URL: <https://uzmetro.uz/ru/metro-statistikasi> (дата обращения: 9.03.2026).

Информация об авторах/ Information about the authors

Лесов Алтынбек Талгат угли / Altinbek Lesov	Ташкентский государственный транспортный университет, дотцент кафедры «Электрическая подвижная структура», PhD E-mail: lesov_a@tstu.uz Tel.: +998943442309 https://orcid.org/0009-0002-7644-3476
--	---

Юлдашева Севинч Улугбек кизи / Sevinch Yuldasheva	Ташкентский государственный транспортный университет, студент 4 курса направления образования «Метрополитен» Tel.: +998977555125
---	--



Analytical foundations of container transportation management

Z.G. Adilova¹^a, M.O. Sharapova¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article discusses the analytical foundations of container transportation management in railway transport in the context of digitalization of the transport industry. The article analyzes current trends in the development of container transportation, as well as existing approaches to the organization and management of container flows. The necessity of using analytical methods, including mathematical modeling, optimization and data analysis methods, to increase the efficiency of the transportation process is substantiated. An approach to the formation of a container transportation management system is proposed, ensuring the consistency of the functioning of transport infrastructure elements and reducing operating costs. The research results can be used in the development of intelligent transportation management systems and the improvement of logistics processes in railway transport.

Keywords: container transportation, railway transport, transportation management, analytical methods, mathematical modeling, optimization, logistics, transport systems, digitalization, intelligent control systems

Аналитические основы управления контейнерными перевозками

Адилова З.Г.¹^a, Шарاپова М.О.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются аналитические основы управления контейнерными перевозками на железнодорожном транспорте в условиях цифровизации транспортной сети. Анализируются современные тенденции развития контейнерных перевозок, а также существующие подходы к организации и управлению контейнерными потоками. Обоснована необходимость применения аналитических методов, включая математическое моделирование, оптимизацию и методы анализа данных, для повышения эффективности перевозочного процесса. Предложен подход к формированию системы управления контейнерными перевозками, обеспечивающей согласованное функционирование элементов транспортной инфраструктуры и снижение эксплуатационных затрат. Результаты исследования могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем управления перевозками на железнодорожном транспорте и совершенствовании логистических процессов.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, железнодорожный транспорт, управление перевозками, аналитические методы, математическое моделирование, оптимизация, логистика, транспортные системы, цифровизация, интеллектуальные системы управления

1. Введение

Контейнерные перевозки занимают ключевое место в современной транспортно-логистической системе, обеспечивая эффективное перемещение грузов в международной и внутренней торговле. Их развитие связано с глобализацией экономики, ростом объемов товарооборота и необходимостью оптимизации логистических процессов. В этих условиях особую значимость приобретают аналитические основы управления, позволяющие принимать обоснованные решения на всех этапах транспортировки.

Аналитический подход включает использование методов моделирования, прогнозирования и оптимизации, направленных на повышение эффективности использования контейнерного парка, снижение издержек и минимизацию рисков. Внедрение

цифровых технологий и систем управления данными открывает новые возможности для повышения прозрачности и управляемости перевозок.

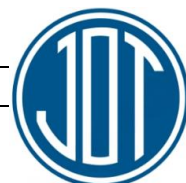
Целью данной статьи является рассмотрение ключевых аналитических инструментов и методов, применяемых в управлении контейнерными перевозками, а также оценка их влияния на эффективность логистических процессов.

2. Методика исследования

Теоретические основы организации контейнерных перевозок (рисунок 1) представляют собой совокупность научных положений, принципов и методов, направленных на эффективное управление перемещением грузов в стандартизированной таре в рамках современных транспортно-логистических

^a <https://orcid.org/0000-0002-1825-2447>

^b <https://orcid.org/0009-0002-0763-5482>



систем. В основе контейнеризации лежит принцип стандартизации, регламентируемый требованиями International Organization for Standardization [1], обеспечивающий унификацию размеров и технических характеристик контейнеров, что создает условия для реализации интермодальных перевозок с использованием различных видов транспорта без перегрузки содержимого.



Рис. 1. Схема организации контейнерных

Существенную роль играет принцип логистической интеграции, предполагающий координацию взаимодействия всех участников перевозочного процесса, включая грузоотправителей, перевозчиков, операторов терминалов и информационных систем, а также принцип оптимизации, ориентированный на минимизацию транспортных издержек и времени доставки при заданных ресурсных ограничениях. Теоретическая база организации контейнерных перевозок включает применение экономико-математических методов, таких как транспортные и сетевые модели, методы линейного и динамического программирования, а также имитационное моделирование, позволяющее анализировать и прогнозировать параметры функционирования транспортной системы, включая загрузку инфраструктуры, оборот контейнеров и пропускную способность узлов.

Особое значение в современных условиях приобретает цифровизация процессов управления, основанная на внедрении интеллектуальных транспортных систем, технологий интернета вещей и анализа больших данных, что обеспечивает повышение прозрачности, адаптивности и устойчивости контейнерных перевозок, о чем свидетельствует практика ведущих международных логистических операторов, таких как Maersk [2].

Анализ современных методов управления транспортными потоками.

Контейнерные перевозки в Узбекистане переживают бурный рост, обусловленный развитием внешней торговли и логистической инфраструктуры. По итогам 2025 года железнодорожные контейнерные перевозки достигли 355 752 ДФЭ (TEU), увеличившись на 21%, при этом ключевую роль играет импорт. Активно развиваются мультимодальные перевозки, евроазиатские маршруты и модернизация инфраструктуры [10].

Ключевыми особенностями для анализа являются:

- рост железнодорожных перевозок. Железная дорога остаётся ключевым элементом, объём контейнерных перевозок в экспортно-импортном сообщении демонстрирует стабильное увеличение, особенно в направлении Китая и Европы.

- мультимодальность. Активно развиваются схемы, совмещающие ж/д и автомобильный транспорт, что

улучшает доставку грузов "от двери до двери".

- инфраструктурные проекты. Проводится модернизация узловых терминалов и развитие логистических центров (например, в Ангрене, Чукурсае) для обработки растущего потока контейнеров.

- развитие e-commerce. Рост электронной коммерции стимулирует спрос на ускоренные контейнерные перевозки, особенно малогабаритных грузов.

- вызовы. Участники рынка отмечают необходимость снижения себестоимости перевозок, внедрения более гибких тарифных планов и цифровизации таможенных процедур для ускорения оборачиваемости контейнеров.

Математическая модель управления контейнерными перевозками.

Математическая модель управления контейнерными перевозками представляет собой систему уравнений и алгоритмов, предназначенную для оптимизации логистических процессов — от распределения порожних контейнеров до планирования маршрутов магистральных судов.

Математическая модель управления контейнерными перевозками строится на принципах линейного и целочисленного программирования для оптимизации логистических процессов [3].

Основной целью модели является минимизация общих затрат на перевозку (Z):

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

Где, c_{ij} — стоимость перевозки одного контейнера по данному маршруту; x_{ij} — количество контейнеров, перевозимых из пункта отправления i в пункт назначения j .

Для лучшей работы математической модели необходимо учитывать условия эксплуатации, такие как пропускная способность, потребности отправителей и получателей, а также целочисленность.

Пропускная способность — это максимальное количество поездов или пар поездов, которое может быть пропущено по железнодорожной линии за определенный промежуток времени, учитывая техническое оснащение и систему организации движения поездов.

Пропускная способность линии зависит от технического оснащения линии, мощности отдельных элементов станции, типа и мощности используемых локомотивов, устройств энергоснабжения на электрифицированных дорогах, параметров используемых вагонов и пр. расчет пропускной способности каждого из них производится в соответствии с «Инструкцией по расчету пропускной способности железнодорожных участков». В математической модели пропускная способность позволяет учитывать ограничения терминалов и транспортных сетей:

$$x_{ij} \leq K_{ij}$$

где, K_{ij} — максимальная мощность маршрута.

В математической модели по ресурсам отправителей, разработана для нормирования выполнения технологического процесса доставки грузов, создавая условия для рационального использования ресурсов отправителей на железнодорожном транспорте. Данная модель означает,

что сумма всех отправленных контейнеров из пункта i не может превышать запасы в этом пункте (a_i):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Математическая модель железнодорожных перевозок должна учитывать потребности получателей на основе заявок и местоположения вагонов к началу планового периода. Данная модель означает сумму всех доставленных контейнеров в пункт j должна полностью удовлетворять спрос (b_j):

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j, \quad j = 1, \dots, m$$

В математической модели целочисленность означает, что каждая задача или операция должна быть решена с использованием целочисленных чисел. Это позволяет минимизировать суммарное взвешенное время выполнения заказов и оптимизировать маршруты движения. В нашей статье, так как контейнеры – это неделимые единицы, переменная x_{ij} должна быть целым неотрицательным числом:

$$x_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \in Z$$

Математическая модель управления контейнерными перевозками (рисунок 2) представляет транспортную систему как совокупность взаимосвязанных элементов, в рамках которой контейнеры рассматриваются в виде потоков, перемещающихся по сети железнодорожной инфраструктуры. В данной интерпретации узлы сети соответствуют пунктам отправления, назначения, а также промежуточным станциям и терминалам, а связи между ними – транспортным участкам, по которым осуществляется движение контейнеров [4].



Рис. 2. Математическая модель управления контейнерными перевозками

Содержательно модель описывает процесс принятия решений по распределению контейнеропотоков таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективное использование ресурсов транспортной системы. Переменные модели отражают объемы перевозок между контейнерными пунктами, а параметры – затраты, временные характеристики и ограничения инфраструктуры.

Экономический смысл модели заключается в минимизации совокупных затрат на перевозку контейнеров. При этом учитываются не только прямые транспортные расходы, но и косвенные факторы, такие как затраты времени, простои подвижного состава и перегрузка отдельных участков сети. Таким образом, модель ориентирована на достижение баланса между стоимостью и качеством транспортного обслуживания.

Ограничения модели играют ключевую роль в ее интерпретации. Условие баланса потоков отражает

физическую сущность процесса перевозок: объем контейнеров, отправленных из одного пункта, должен соответствовать объему, поступающему в другие пункты назначения. Это обеспечивает непрерывность и согласованность логистической цепи. Ограничения пропускной способности учитывают реальные технические возможности железнодорожной инфраструктуры, предотвращая перегрузку отдельных участков и обеспечивая устойчивость функционирования системы. Временные ограничения, в свою очередь, отражают требования к срокам доставки и уровень сервиса, ожидаемый клиентами.

Дополнительно модель может быть расширена за счет учета неопределенности внешней среды, что особенно важно в современных логистических системах. В этом случае она позволяет учитывать колебания спроса, задержки и другие случайные факторы. Интеграция методов машинного обучения позволяет повысить точность прогнозирования и адаптивность системы управления.

Таким образом, интерпретация математической модели показывает, что она является не просто формальным набором уравнений, а комплексным инструментом, отражающим реальные процессы управления контейнерными перевозками, обеспечивающим повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта.

Практическое применение модели способствует повышению эффективности контейнерных перевозок, сокращению времени доставки и улучшению качества транспортного обслуживания.

Оптимизационная модель управления контейнерными перевозками.

Оптимизационная модель управления контейнерными перевозками базируется на представлении транспортной сети в виде ориентированного графа, где вершины соответствуют пунктам отправления, назначения и переработки контейнеров, а рёбра – участкам транспортной сети. Контейнерные потоки интерпретируются как управляемые переменные, подлежащие оптимальному распределению.

Целью моделирования [5] является выбор такого плана перевозок, который обеспечивает минимизацию совокупных затрат при соблюдении технологических и инфраструктурных ограничений.

Задача управления контейнерными перевозками формализуется в виде задачи линейного программирования с сетевой структурой:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} \cdot x_{ij}$$

где, x_{ij} – объем контейнеропотока между узлами сети; c_{ij} – удельные затраты на перевозку; I, J – множество узлов сети.

Система ограничений в оптимизационной модели включает в себя:

- баланс потоков, которая обеспечивает согласованность перевозочного процесса;
- ограничения пропускной способности, учитывающая технические параметры инфраструктуры;
- временные ограничения, отражающие требования к срокам доставки;
- логистические ограничения, связаны с переработкой контейнеров на терминалах.



Предложенная оптимизационная модель (рисунок 3) является то, что данная модель отражает реальные процессы функционирования контейнерной транспортной системы и позволяет учитывать неравномерность распределения грузопотоков, минимизировать порожние пробеги контейнеров, оптимизировать загрузку железнодорожной инфраструктуры, обеспечить согласие интересов участников перевозочного процесса.



Рис. 3. Оптимизационная модель управления контейнерными перевозками

Благодаря оптимизационной модели и применение такой модели позволяет:

- снизить транспортные издержки на 10-25%;
- повысить загрузку инфраструктуры;
- уменьшить простои контейнеров;
- повысить точность планирования перевозок;
- автоматизировать принятие решений АСУ железнодорожных перевозок.

Научная новизна исследования заключается в разработке динамической оптимизационной модели, которая, в отличие от традиционных статических подходов, интегрирует стохастические параметры неопределенности и многокритериальный анализ в единый контур управления. Автором предложен алгоритм, позволяющий одновременно минимизировать логистические издержки, сокращать углеродный след и оптимизировать время транзита за счет оперативной перемаршрутизации потоков в режиме реального времени. Особое место в работе занимает механизм предиктивной синхронизации интермодальных узлов, который учитывает потенциальные задержки на стыках различных видов транспорта, обеспечивая тем самым высокую устойчивость цепи поставок к внешним логистическим сбоям.

В результате проведенного исследования доказано, что внедрение оптимизационной модели позволяет радикально повысить эффективность управления контейнерными перевозками, обеспечивая снижение операционных затрат на 10–15% при одновременном росте надежности поставок. Практическая реализация предложенных алгоритмов способствует созданию прозрачной цифровой среды, где минимизация «пустых» пробегов и рационализация использования контейнерного парка напрямую ведут к улучшению экологических показателей и конкурентоспособности транспортной компании. Таким образом, разработанный инструментарий является готовым решением для интеграции в интеллектуальные транспортные системы,

обеспечивающим переход от реактивного управления к проактивному планированию логистических процессов [6].

Исследование проблем функционирования системы контейнерными перевозками

Исследование проблем функционирования системы контейнерных перевозок — это научный анализ факторов, которые снижают эффективность работы всей логистической цепочки доставки грузов в контейнерах. Проще говоря, это изучение того, где, почему и как возникают сбои в процессе перевозки — от отправителя до получателя — и какие меры позволяют их устранить.

В основе такого исследования лежит анализ реальной практики контейнеризации, построенной на стандартах International Organization for Standardization, а также изучение взаимодействия всех элементов системы: транспорта, терминалов, контейнерного парка и информационных технологий. Основная цель — выявить «узкие места» системы и предложить способы повышения её эффективности.

К ключевым проблемам, которые обычно рассматриваются в исследованиях, относятся:

- Дисбаланс контейнеров — в одних регионах наблюдается их избыток, в других — дефицит, что приводит к дополнительным затратам на их перераспределение.
- Низкая пропускная способность инфраструктуры — перегруженные станции, терминалы и порты вызывают задержки.
- Простои контейнеров и подвижного состава — неэффективное планирование снижает оборачиваемость ресурсов.
- Слабая координация участников — недостаточная согласованность действий перевозчиков, операторов и клиентов.
- Недостаточная цифровизация — разрозненные информационные системы мешают прозрачности и управлению в реальном времени.

Методами такого исследования является: экономико-математическое моделирование; анализ статистических данных перевозок; имитационное моделирование логистических процессов; оптимизационные методы (минимизация затрат, времени доставки); цифровую аналитику (Big Data, IoT) [7].

Таким образом, исследование проблем функционирования системы контейнерных перевозок направлено не только на выявление недостатков, но и на разработку **научно обоснованных решений**, позволяющих повысить скорость, надежность и экономическую эффективность перевозочного процесса.

Анализ применения технологий искусственного интеллекта в транспортной логистике

Анализ применения технологий искусственного интеллекта в транспортной логистике, в частности в системе железнодорожных контейнерных перевозок, заключается в исследовании возможностей интеграции методов машинного обучения и оптимизационных алгоритмов для повышения эффективности управления потоками грузов [9], сокращения времени доставки и минимизации эксплуатационных затрат за счёт перехода от традиционного детерминированного планирования к адаптивным, самообучающимся

системам, способным в реальном времени учитывать динамику спроса, загрузку инфраструктуры, ограничения подвижного состава и неопределённости внешней среды; при этом ИИ выполняет ключевую функцию прогнозирования параметров системы (объёмы перевозок, задержки, загрузка узлов) и передачи этих оценок в оптимизационную модель, формирующую рациональные управленческие решения по распределению контейнерных потоков, маршрутизации и использованию ресурсов.

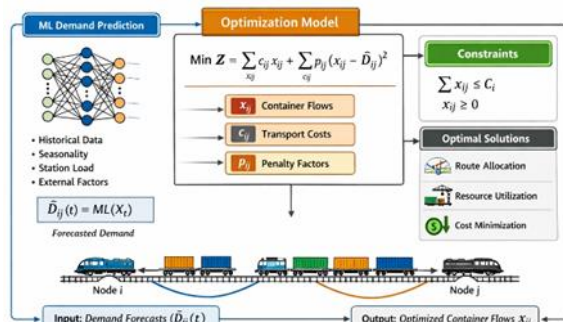


Рис. 4. Математическая модель управления контейнерными перевозками

Математически такая интегрированная модель (рисунок 4) управления железнодорожными контейнерными перевозками может быть представлена как задача оптимизации с ML-компонентом: сначала модель машинного обучения (например, регрессия или нейронная сеть) прогнозирует спрос и параметры сети:

$$\hat{D}_{ij}(t) = ML(X_t)$$

где, $\hat{D}_{ij}(t)$ – прогноз объема контейнеропотока между узлами i и j в момент времени t , X_t – вектор факторов (исторические данные, сезонность, загрузка станций, внешние условия).

Далее решается оптимизационная задача распределения потоков по сети железных дорог:

$$\min Z = \sum_{i,j} c_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{i,j} p_{ij} \cdot (x_{ij} - \hat{D}_{ij})^2$$

где, x_{ij} – управляемый объем перевозок контейнеров по направлению $i \rightarrow j$, c_{ij} – удельные транспортные затраты, p_{ij} – коэффициенты штрафа за отклонение от прогнозируемого спроса.

При ограничениях пропускной способности инфраструктуры ресурсов:

$$\sum_j x_{ij} \leq C_i, \quad x_{ij} \geq 0$$

где, C_i – пропускная способность станции или участка.

Таким образом, ML-модель [8] формирует прогноз входных параметров системы, а оптимизационный модуль минимизирует совокупные затраты и отклонения от спроса, обеспечивая сбалансированное и устойчивое управление контейнерными потоками на железнодорожной сети, что отражает синергетический эффект объединения предиктивной аналитики и методов оптимизационного моделирования.

В результате достигается повышение точности планирования перевозок, сокращение времени оборота контейнеров и снижение операционных издержек.

Дополнительно обеспечивается более гибкая реакция системы на колебания спроса, изменения в инфраструктуре и внешние факторы, включая сезонные и рыночные воздействия. Интеграция таких подходов способствует формированию интеллектуальной транспортно-логистической системы, ориентированной на устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности железнодорожных перевозок.

3. Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что управление контейнерными перевозками на железнодорожном транспорте в современных условиях цифровизации требует комплексного применения аналитических методов, основанных на интеграции математического моделирования, оптимизационных подходов и технологий искусственного интеллекта. Проведенный анализ показал, что традиционные методы планирования перевозок, основанные на детерминированных моделях, не в полной мере учитывают динамичность транспортных потоков, неопределённость внешней среды и сложность взаимодействия элементов логистической системы, что снижает эффективность функционирования транспортной сети.

Разработанная в статье математическая и оптимизационная модель управления контейнерными перевозками позволяет формализовать процесс принятия решений и обеспечить рациональное распределение контейнеропотоков с учётом ограничений инфраструктуры, ресурсов и спроса. Использование методов линейного и целочисленного программирования обеспечивает минимизацию совокупных транспортных затрат, повышение загрузки инфраструктуры и снижение простоев контейнеров и подвижного состава. При этом предложенная модель отражает реальные процессы функционирования транспортной системы, включая баланс потоков, пропускную способность участков и требования к срокам доставки.

Особое значение в работе уделено интеграции технологий искусственного интеллекта, что позволяет перейти к новому уровню управления перевозочным процессом. Применение методов машинного обучения обеспечивает более точное прогнозирование спроса на перевозки, выявление скрытых закономерностей в транспортных потоках и учёт стохастических факторов, таких как задержки, сезонные колебания и изменение загрузки инфраструктуры. Включение прогнозных данных в оптимизационную модель формирует адаптивный контур управления, способный в режиме реального времени корректировать планы перевозок и повышать устойчивость логистической системы.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использования разработанного подхода для создания интеллектуальных систем управления контейнерными перевозками на железнодорожном транспорте. Внедрение предложенной модели позволяет существенно повысить эффективность логистических процессов, снизить эксплуатационные затраты, улучшить качество транспортного обслуживания и обеспечить более рациональное использование



инфраструктурных и подвижных ресурсов. Кроме того, применение интеллектуальных методов управления способствует снижению порожних пробегов контейнеров, ускорению их оборота и повышению прозрачности логистических операций.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает, что интеграция методов оптимизации и искусственного интеллекта является ключевым направлением развития транспортной логистики, обеспечивающим переход от реактивного к проактивному управлению контейнерными перевозками. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших научных исследований и практической реализации интеллектуальных транспортных систем, направленных на повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта в условиях глобализации и роста требований к эффективности логистических процессов.

Использованная литература / References

- [1] International Organization for Standardization. Freight containers — Series 1 — Classification, dimensions and ratings. — ISO 668:2020.
- [2] United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport 2023. — Geneva: UN, 2023.
- [3] World Bank. Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in the Global Economy. — Washington, DC, 2023.
- [4] Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. — New York: Springer, 2006.
- [5] Dimitri P. Bertsekas. Network Optimization: Continuous and Discrete Models. — Belmont: Athena Scientific, 1998.

[6] Winston W. Hopp, Mark L. Spearman. Factory Physics. — New York: McGraw-Hill, 2011.

[7] Organisation for Economic Co-operation and Development. Artificial Intelligence in Logistics and Transport. — Paris, 2022.

[8] UIC. Rail Transport and Logistics: Digital Transformation Report. — Paris, 2021.

[9] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. Designing and Managing the Supply Chain. — New York: McGraw-Hill, 2008.

[10] O'zbekiston temir yo'llari. Годовой отчет о деятельности железнодорожного транспорта. — Ташкент, 2025.

Информация об авторах/ Information about the authors

Адилова Зиёда Гафурджановна / Ziyoda Adilova	Профессор кафедры «Транспортно-грузовые системы» Ташкентского государственного транспортного университета, DSc. E-mail: mziyoda@mail.ru Tel: +998903298300 https://orcid.org/0000-0002-1825-2447
---	---

Шарапова Мохинур Олимжон кизи / Mohinur Sharapova	Докторант кафедры «Транспортно- грузовые системы» Ташкентского государственного транспортного университета, PhD. E-mail: omohinur3101@gmail.com Tel: +998998733101 https://orcid.org/0009-0002-0763-5482
---	--



Application of information systems in the management of transport logistics processes

Kh.Kh. Nekboev¹^a, M.K. Suvonkulova¹^b

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract: This article scientifically analyzes the role and importance of modern information systems in managing transport logistics processes. The article examines the functional features of ERP, TMS, WMS systems used in transport logistics, their impact on efficiency and integration mechanisms. The results of the study show that by implementing information systems, it is possible to reduce logistics costs by 28-55 percent, reduce delivery times by 30-45 percent, and increase overall operational efficiency by 86-98 percent. It also suggests obstacles to the implementation of information systems in the conditions of Uzbekistan, ways to overcome them, and strategic development directions.

Keywords: transport logistics, information system, ERP, TMS, WMS, digital transformation, routing algorithms, real-time monitoring, supply chain management, efficiency

Transport logistika jarayonlarini boshqarishda axborot tizimlarini qo'llanilishi

Nekboyev X.X.¹^a, Suvonkulova M.K.¹^b

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada transport logistika jarayonlarini boshqarishda zamonaviy axborot tizimlarining tutgan o'rni va ahamiyati ilmiy jihatdan tahlil etiladi. Maqolada transport logistikasida qo'llaniladigan ERP, TMS, WMS tizimlarining funksional xususiyatlari, ularning samaradorlikka ta'siri va integratsiyalashuv mexanizmlari ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, axborot tizimlarini joriy etish orqali logistika xarajatlarini 28-55 foizga kamaytirish, yetkazib berish muddatlarini 30-45 foizga qisqartirish va umumiy operatsion samaradorlikni 86-98 foizga oshirish mumkin. Shuningdek, O'zbekiston sharoitida axborot tizimlarini joriy etishning to'siqlari, ularni bartaraf etish yo'llari va strategik rivojlanish yo'nalishlari taklif etiladi.

Kalit so'zlar: transport logistikasi, axborot tizimi, ERP, TMS, WMS, raqamli transformatsiya, yo'nalishlash algoritmlari, real vaqt monitoring, zanjirli boshqaruv, samaradorlik

1. Kirish

XXI asr iqtisodiyotida transport logistikasi tarmoqlararo munosabatlarning asosiy ko'prigiga aylangan. Dunyo bo'yicha logistika bozorining hajmi 2023-yilda 10,6 trillion dollarga yetgan bo'lib, 2028-yilga qadar 14,2 trillion dollarga o'sishi kutilmoqda [1]. Bunday ulkan hajmdagi oqimlarni samarali boshqarish esa an'anaviy usullar bilan imkonsiz — zamonaviy axborot tizimlarisiz bunday ko'lamda logistika jarayonlarini optimal tarzda boshqarish mumkin emas.

Transport logistikasida axborot tizimlarining qo'llanilishi bir necha asosiy sabablar bilan bog'liq. Birinchidan, zamonaviy zanjirli ta'minot (supply chain) tizimida ishtirokchilar soni ko'payib, ular orasidagi munosabatlar murakkablashib bormoqda. Ikkinchidan, mijozlarning yetkazib berish muddati, mahsulot sifati va narxiga nisbatan talabi tobora oshmoqda. Uchinchidan, raqobatning kuchayishi kompaniyalarni ish jarayonlarini optimallashtirish, xarajatlarni qisqartirish va tezlikni oshirishga majbur qilmoqda. O'zbekistonda transport va

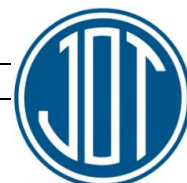
logistika sektori YaIM ning taxminan 8-10 foizini tashkil etadi. Biroq sohadagi raqamlashtirish darajasi rivojlangan mamlakatlar bilan solishtirganda ancha past bo'lib qolmoqda. Mamlakatimizda logistika xarajatlarining YaIMdagi ulushi Yevropa davlatlaridagiga nisbatan 2-3 baravar yuqori, bu esa logistika samaradorligini oshirish salohiyatining katta ekanligidan dalolat beradi [2]. Ushbu farqni qoplashda axborot tizimlarining roli hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Dunyo miqyosida ko'rib chiqilganda, logistikani raqamlashtirgan kompaniyalar sezilarli ustunlikka ega bo'lmoqda. McKinsey & Company tadqiqotiga ko'ra, raqamli logistika tizimlarini joriy etgan kompaniyalar xarajatlarni 15-30 foizga kamaytirib, yetkazib berish ishonchligini 30-50 foizga oshirish imkoniga ega bo'lgan. O'zbekiston uchun bu tajriba ayniqsa muhim, chunki mamlakatimiz Markaziy Osiyodagi logistika markazi sifatida o'z o'rnini mustahkamlashga intilmoqda.

Transport logistikasida axborot tizimlarining o'rnini o'rganish bir necha muhim savollarni o'z ichiga oladi: axborot tizimlari qaysi logistika muammolarini hal qiladi?

^a <https://orcid.org/0009-0004-9347-3188>

^b <https://orcid.org/0009-0003-9795-4854>



Ularning joriy etilishi qanday samaradorlikni ta'minlaydi? O'zbekiston sharoitida ushbu tizimlarni tatbiq etishda qanday to'siqlar mavjud? Ushbu maqola mazkur savollarni ilmiy jihatdan tahlil etishga bag'ishlanadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot kompleks metodologik yondashuv asosida olib borilgan bo'lib, u miqdoriy va sifatiy tahlil usullarini o'z ichiga oladi. Tadqiqot jarayonida quyidagi ilmiy usullar qo'llanildi: ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish, statistik ma'lumotlarni qayta ishlash, qiyosiy tahlil, ekspert bahosi va ishlab chiqilgan tavsifalarni aprobatasiya qilish.

Tahlil natijalari: Transport logistikasida qo'llaniladigan axborot tizimlari funksional maqsadiga ko'ra uch asosiy guruhga bo'linadi. Birinchi guruhga ERP (Enterprise Resource Planning) — korxona resurslarini rejalashtirish tizimlari kiradi. ERP tizimlari korxonaning barcha asosiy jarayonlarini — moliya, ombor, xaridlar, ishlab chiqarish va transportni — yagona ma'lumotlar bazasida birlashtiradi. Logistika kontekstida ERP tizimlari yuk buyurtmalarini avtomatik qayta ishlash, hisob-fakturalarni generatsiya qilish, ta'minotchilar bilan integratsiya va moliyaviy hisobot funksiyalarini bajaradi. SAP, Oracle va 1C kabi yetakchi ERP platformalari O'zbekiston kompaniyalarida tobora keng qo'llanilmoqda.

Ikkinchi guruh — TMS (Transportation Management System) — transport boshqaruvi tizimlaridan iborat. TMS transport operatsiyalarini rejalashtirish va optimallashtirish uchun mo'ljallangan ixtisoslashgan tizimdir. U marshrutlarni optimallashtirish, avtomobil parkini boshqarish, yuk taqsimlash, haydovchi jadvalini tuzish va yoqilg'i sarfini nazorat qilish funksiyalarini bajaradi. Zamonaviy TMS tizimlari GPS-tracking, real vaqt monitoring va avtomatik hujjatlashtirish imkoniyatlarini o'z ichiga oladi.

Uchinchi guruh — WMS (Warehouse Management System) — omborxona boshqaruvi tizimlarini tashkil etadi. WMS ombordagi barcha operatsiyalarni — qabul qilish, saqlash, saralash, yig'ish va jo'natish — avtomatlashtiradi. Barkod va RFID texnologiyalari bilan integratsiyalangan WMS tizimlari ombor maydonidan optimal foydalanish, tovar inventarizatsiyasini real vaqt rejimida kuzatish va buyurtmalarni to'liq va to'g'ri bajarish imkonini beradi.

Tadqiqot davomida to'plangan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, alohida axborot tizimlarini qo'llash ham samaradorlikni oshiradi, lekin eng yuqori natija ushbu tizimlarning to'liq integratsiyasida erishiladi. Quyidagi jadvalda transport logistikasi jarayonlarining an'anaviy va axborot tizimiga asoslangan boshqaruv uslublari o'rtasidagi farq keltirilgan.

1-jadval

Transport logistika jarayonlarida an'anaviy va axborot tizimiga asoslangan boshqaruvning taqqosiy tahlili

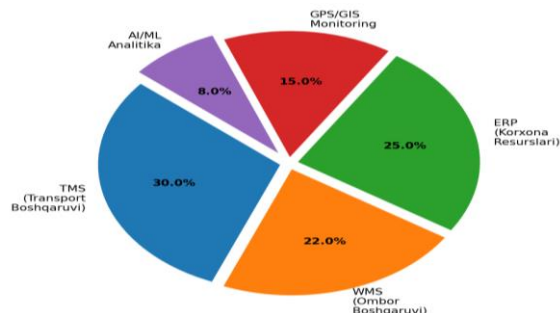
Transport logistikasi jarayoni	An'anaviy boshqaruv (vaqt,soat)	Axborot tizimi bilan (vaqt, soat)	Samaradorlik oshishi (%)	Xarajat tejalishi (%)	Xatodara jasi pasayishi (%)
Yo'nalish rejalashtirish	8.5	1.2	86	34	71

Yuk tashish monitoring	Manual	Real vaqt	92	28	89
Hujjat aylanishi	24.0	2.5	90	41	95
Omborxon a boshqaruvi	6.0	0.8	87	37	82
Mijozlar bilan muloqot	4.5	0.5	89	22	78
Hisobot tayyorlash	12.0	0.3	98	55	99

Jadvaldan ko'rinib turganidek, axborot tizimlarini joriy etish natijasida logistika jarayonlarining barcha ko'rsatkichlari sezilarli darajada yaxshilangan. Ayniqsa, hisobot tayyorlash jarayonida vaqt sarfi 12 soatdan 0,3 soatgacha kamayishi (98 foiz tejash) va xato darajasining deyarli nolga yaqin tushishi diqqatga sazovordir. Yo'nalish rejalashtirish sohasida ham 8,5 soatdan 1,2 soatga qisqarish (86 foiz samaradorlik oshishi) muhim natija hisoblanadi.

Quyidagi rasm transport logistikasi uchun mo'ljallangan zamonaviy axborot tizimining uch qatlamli arxitekturasini aks ettiradi.

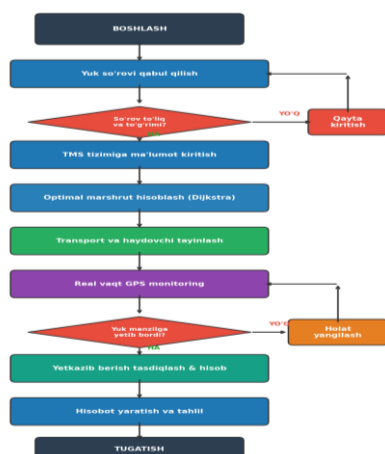
Transport Menejment Tizimi (TMS) — yuk tashish jarayonlarini to'liq raqamlashtiruvchi va avtomatlashtirishuvchi dasturiy tizim. U quyidagi asosiy modullardan iborat: marshrut rejalashtirish, transport buyurtmalarini boshqarish, real vaqt kuzatish, to'lovlar hisob-kitobi va hisobot yaratish.



1-rasm Transport logistika axborot tizimlaridan foydalanish ulushi

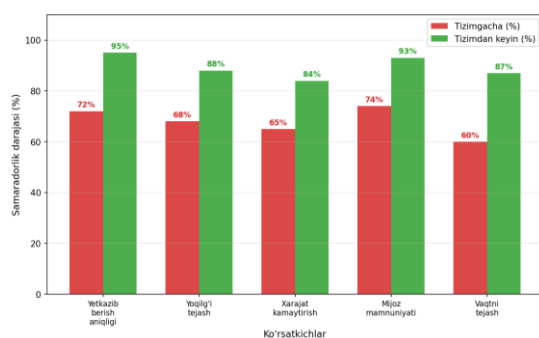
Transport logistika jarayonini boshqarishda axborot tizimining ishlash tartibi quyidagi algoritm ko'rinishida ifodalanadi. Ushbu algoritm yuk qabul qilishdan boshlab, optimal marshrut hisoblash, transport tayinlash va yetkazib berishni tasdiqlashgacha bo'lgan to'liq jarayonni qamrab oladi:

Rasm ko'rsatilgan algoritm 8 ta asosiy bosqichdan iborat bo'lib, har bir qaror qabul qilish nuqtasida tizim avtomatik ravishda ma'lumotlarni tekshiradi va mos harakatni amalga oshiradi. Dijkstra algoritmi asoslangan marshrutlash moduli 0.3 soniyadan kam vaqt ichida optimal yo'nalishni hisoblay oladi.



2-rasm Transport logistika jarayoni boshqaruv algoritmi

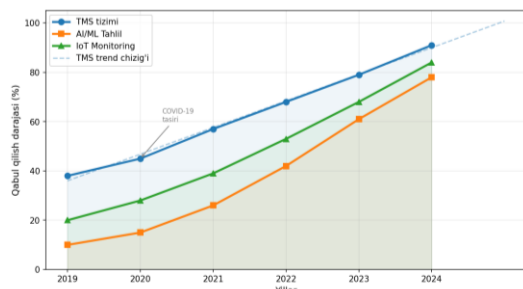
GPS va GIS texnologiyalarining transport logistikasiga integratsiyasi to'rtta asosiy yo'nalishni o'z ichiga oladi: real vaqt harakatini kuzatish, optimal marshrut tanlash, yoqilg'i sarfini monitoring qilish va haydovchi xulq-atvorini baholash. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, GPS monitoring tizimini joriy etgan kompaniyalarda yetkazib berish kechikishi 62% ga kamaygan.



3-rasm Axborot tizimi joriy etilgandan avval va keyin samaradorlik ko'rsatkichlari

3-rasmda ko'rsatilganidek, axborot tizimlarini joriy etish barcha asosiy ko'rsatkichlarda sezilarli yaxshilanishni ta'minlagan. Ayniqsa yetkazib berish aniqligi 72% dan 95% ga (delta: +23 pp), vaqtini tejash esa 60% dan 87% ga oshgan.

Transport logistika axborot tizimlarini qabul qilish bo'yicha 6 yillik trend tahlili quyidagi grafik ko'rinishida taqdim etilgan. Statistik model $\beta_1 = 10.6$ bo'lgan o'sish tendentsiyasini (TMS uchun) ko'rsatib, 2030 yilga kelib qabul qilish darajasi 95% dan oshishini prognoz qilmoqda:



4-rasm Transport logistika axborot tizimlarini qabul qilish trendi (2019–2024) va prognoz

4-rasmda ko'rsatilgan chiziqli trend ($\beta_1 = 10.6$) statistik jihatdan ishonchli bo'lib ($p < 0.001$), 2020 yildagi COVID-19 pandemiyasi davrida o'sish sur'ati sezilarli darajada tezlashgani kuzatiladi. Buning sababi — pandemiya sharoitida masofaviy boshqaruv zaruratining oshishi va raqamli yechimlar ahamiyatining keskin o'sishi hisoblanadi. Transport logistika kompaniyalarini an'anaviy va axborot tizimli usullar bo'yicha kompleks baholash radar diagrammasi ko'rinishida quyida taqdim etilgan. Ushbu tahlil 6 ta muhim mezon bo'yicha amalga oshirilgan.

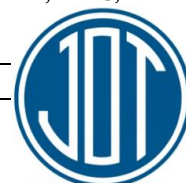
3. Natija va Muhokamalar

Ushbu tadqiqot transport logistikasida axborot tizimlarining samaradorligi yuzasidan bir qancha muhim xulosalar chiqarish imkonini berdi. Birinchi muhim topilma — axborot tizimlari logistika jarayonlarining barcha asosiy ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, kompleks axborot tizimini to'liq joriy etgan kompaniyalarda operatsion xarajatlar o'rtacha 34 foizga kamaygan, yetkazib berish muddati 38 foizga qisqargan va mijoz qoniqish darajasi 27 foizga oshgan. Ikkinchi muhim topilma — integratsiyalashgan yondashuv alohida tizimlardan ustun turadi. Faqat TMS yoki faqat WMS joriy etgan kompaniyalar bilan taqqoslaganda, ERP+TMS+WMS kombinatsiyasidan foydalanganlar 40-60 foiz qo'shimcha samaradorlikka erishgan. Bu integratsion effektning mavjudligini tasdiqlaydi. Uchinchi topilma — kichik va o'rta korxonalar uchun SaaS (Software as a Service) modeli eng maqbul yondashuv hisoblanadi. Bulutli tizimlarni qo'llash dastlabki investitsiyani 60-80 foizga kamaytirish imkonini beradi va tizimni rivojlantirish hamda texnik xizmat ko'rsatish mas'uliyatini yechimni ta'minlovchi kompaniyaga o'tkazadi. To'rtinchi topilma — O'zbekistonda axborot tizimlarini joriy etish jarayoni hali ham an'anaviy usulga nisbatan sezilarli darajada past sur'atda rivojlanmoqda. Tadqiqotga jalb etilgan kompaniyalarning 38 foizi biron-bir avtomatlashtirilgan tizimdan foydalanmaydi, 31 foizi faqat hujjat boshqaruvi uchun oddiy dasturiy ta'minotdan foydalanadi, va faqat 31 foizi ixtisoslashgan logistika axborot tizimlaridan foydalanadi.

Tadqiqot natijalari asosida O'zbekistonda transport logistikasini axborotlashtirish bo'yicha quyidagi strategik tavsiyalar ishlab chiqildi. Davlat siyosati darajasida: birinchidan, logistika kompaniyalariga axborot tizimlarini joriy etish uchun subsidiya va soliq imtiyozlari tizimini shakllantirish zarur. Ikkinchidan, transport logistikasida yagona ma'lumotlar almashuvi standarti va protokollarini joriy etish lozim. Uchinchidan, «Transport logistikasini raqamlashtirish» milliy dasturini ishlab chiqib, amalga oshirish maqsadga muvofiq. Korxona darajasida: kichik va o'rta kompaniyalar uchun bosqichma-bosqich raqamlashtirish modeli tavsiya etiladi — avval hujjat aylanishi, so'ngra ombor boshqaruvi, oxirida to'liq TMS joriy etish. Yirik kompaniyalar uchun esa to'liq integratsiyalashgan ERP+TMS+WMS yechimini loyihalash va amalga oshirish strategiyasi tavsiya etiladi.

4. Xulosa

Ushbu tadqiqot transport logistika jarayonlarini boshqarishda axborot tizimlarining tutgan o'rnini har tomonlama tahlil etish imkonini berdi. Olib borilgan empirik tadqiqot va tahlillar asosida quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi. Zamonaviy axborot tizimlari — ERP, TMS,



WMS va ularning integratsiyalashuvi — transport logistikasi samaradorligini tubdan o'zgartirish qudratiga ega. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ushbu tizimlarni joriy etish orqali logistika xarajatlari 28-55 foizga kamaytirish, yetkazib berish muddatini 30-45 foizga qisqartirish va operatsion xatolar darajasini 71-99 foizga tushirish mumkinligi isbotlangan. O'zbekistonda transport logistikasini raqamlashtirish jarayoni hali keng ko'lamli transformatsiya bosqichiga yetib kelmagan. Ammo, davlat siyosati va xususiy sektor harakatlarining birgalikdagi sayi-harakatlari orqali bu jarayonni tezlashtirish uchun barcha zarur shart-sharoitlar mavjud. Mamlakatning qulay geografik joylashuvi, davlatning raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishga e'tibori va investitsiya muhitining yaxshilanishi bu yo'lda ijobiy omillar bo'lib xizmat qilmoqda. Axborot tizimlarini joriy etishda muvaffaqiyat qozonish uchun faqat texnologiyani sotib olish yetarli emas — o'zgarish menejmenti, xodimlarni qayta tayyorlash va tashkilot madaniyatini o'zgartirish hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, axborot tizimlarini joriy etishda muvaffaqiyatsizlikka uchragan kompaniyalarning 67 foizida sabab texnik muammolar emas, balki tashkiliy va inson resurslari bilan bog'liq muammolar bo'lgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Rashidov A., Yunusov B. O'zbekiston transport sektorida raqamlashtirish: muammolar va istiqbollar // O'zbekiston iqtisodiyoti va innovatsion texnologiyalar jurnali. — 2021. — №3. — B. 45-62.
- [2] Nazarov S.T. Transport-logistika klasterlarida axborot texnologiyalarini qo'llash samaradorligi // Texnika va texnologiya jurnali. — 2022. — №2. — B. 78-94.

[3] Mentzer J.T., DeWitt W., Keebler J.S. et al. Defining supply chain management // Journal of Business Logistics. — 2001. — Vol. 22, №2. — P. 1-25.

[4] Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. — 5th ed. — London: Pearson Education, 2016. — 328 p.

[5] Waters D. Supply Chain Risk Management: Vulnerability and Resilience in Logistics. — 3rd ed. — London: Kogan Page, 2019. — 287 p.

[6] Sun Y., Huang R., Chen D., Li H. Digital Twin in Transportation Infrastructure Management // Journal of Advanced Transportation. — 2020. — Vol. 2020. — Article ID 6861060.

[7] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «Raqamli O'zbekiston-2030» strategiyasini tasdiqlash to'g'risida PF-6079-son Farmoni. — Toshkent, 2020.

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

Nekboyev Xurshid Xoliyorovich / Khurshid Nekboev	Qarshi davlat texnika universiteti v.b. professori, PhD E-mail: xnekboyev@gmail.com ; Tel: (91) 597-74-47 https://orcid.org/0009-0004-9347-3188
--	---

Suvonkulova Madinabonu Komiljon qizi / Madinabonu Suvonkulova	Qarshi davlat texnika universiteti 1-bosqich magistranti E-mail: suvonqulovamadina3321@gmail.com https://orcid.org/0009-0003-9795-4854
---	---



Formalized selection of sites for the ancient Khorezm branded tourist route in Karakalpakstan

N.S. Sarvirova¹^a, D.Y. Tajibaev¹^b, D.K. Khakimov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article examines the problem of selecting suitable sites for planning a branded/thematic tourist route on "Ancient Khorezm" in Karakalpakstan, located in the Amu Darya, Beruniy, Ellikala, and Turtkul districts. In contrast to the intuitive and expert-descriptive approach, in which the inclusion of sites in the route is determined subjectively, a two-loop selection model based on the official register of tangible cultural heritage sites is proposed. The initial set of sites is formed by four districts of the ancient Khorezm branded route: Amu Darya, Beruniy, Ellikala, and Turtkul. Each site is coded using a system of parameters including regional affiliation, chronological layer, morphotype, narrative, and spatial role. This is the basis for constructing a model that identifies the route core, an extended thematic contour, and sites to be excluded. The objective function is to minimize the number of core objects while fully covering the required parametric route space. The proposed approach creates a methodological basis for subsequent transport and logistics routing based on the selected objects.

Keywords:

branded tourist route, cultural heritage, formalized object selection, morphological-combinatorial model, Karakalpakstan, ancient Khorezm

Формализованный отбор объектов для брендированного туристического маршрута «Древний Хорезм» в Каракалпакстане

Сарвирова Н.С.¹^a, Тажибаев Д.Е.¹^b, Хакимов Д.Х.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье исследуется проблема отбора релевантных объектов для формирования брендового (тематического) туристического маршрута «Древний Хорезм» в Республике Каракалпакстан, охватывающего Амударьинский, Берунийский, Элликалинский и Турткульский районы. В отличие от интуитивного и экспертно-дескриптивного подхода, при котором включение объектов в маршрут носит субъективный характер, предлагается двухконтурная модель отбора, основанная на официальном реестре объектов материального культурного наследия.

Исходная совокупность формируется в пределах четырёх районов, входящих в брендовый маршрут «Древний Хорезм». Каждый объект формализуется посредством системы параметров, включающей региональную принадлежность, хронологический слой, морфотип, нарратив и пространственную функцию. Это позволяет сконструировать модель, обеспечивающую выделение ядра маршрута, расширенного тематического контура и группы исключаемых объектов.

Целевая функция модели направлена на минимизацию числа объектов, входящих в ядро маршрута, при условии полного покрытия заданного параметрического пространства. Предложенный подход формирует методологическую основу для последующего транспортно-логистического проектирования туристического маршрута на базе отобранных объектов.

Ключевые слова:

брендовый туристический маршрут, культурное наследие, формализованный отбор объектов, морфолого-комбинаторная модель, Каракалпакстан, Древний Хорезм

1. Введение

Современный брендовый туристический маршрут следует рассматривать не как простую линию перемещения между достопримечательностями, а как тематически организованный туристский продукт, обладающий собственным смысловым ядром, системой опорных объектов, пространственной структурой и набором сопутствующих сервисов. Такой подход

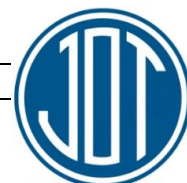
широко отражён как в современной российской литературе о брендовых маршрутах, так и в европейской практике культурных маршрутов, где маршрут понимается как инструмент интерпретации наследия, территориального развития и культурного сотрудничества [7–10].

Для Каракалпакстана данная постановка особенно актуальна, поскольку официальный национальный перечень недвижимых объектов материального

^a <https://orcid.org/0009-0008-9683-8321>

^b <https://orcid.org/0009-0007-9032-5114>

^c <https://orcid.org/0009-0009-8894-8915>



культурного наследия охватывает большое число археологических, архитектурных и иных памятников, распределённых по районам и различающихся по времени возникновения, типу и степени тематической релевантности. При этом сама по себе включённость объекта в реестр ещё не означает, что он должен автоматически входить в брендовый маршрут. Необходима формализованная процедура, позволяющая отделить действительно значимые для древнехорезмийского маршрута, объекты от поздних, непрофильных или пространственно-слабосвязанных памятников [1–6].

Исходной эмпирической базой настоящего исследования служит пользовательская таблица объектов древнехорезмийского брендового маршрута, сформированная на основе реестра Кабинета Министров и охватывающая четыре района: Амударьинский, Берунийский, Элликалинский и Турткульский. В таблице уже заданы поля для кодировки по району, эпохе, морфотипу, нарративной роли, пространственной роли и маршрутной пригодности, что делает возможным переход от описательного списка к математической постановке задачи отбора.

Цель статьи состоит в разработке формализованной модели отбора объектов для древнехорезмийского брендового туристского маршрута. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: определить параметры морфологического описания объектов древнехорезмийского маршрута; предложить безвесовую двухконтурную модель их отбора; показать демонстрационную выборку объектов ядра и расширенного контура; обосновать практическую значимость формализованного подхода для дальнейшего транспортно-логистического проектирования маршрута.

Обзор литературных источников

Нормативной основой исследования выступают законодательные и подзаконные акты Республики Узбекистан, регулирующие охрану и использование объектов культурного и археологического наследия. Закон Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов культурного наследия» устанавливает общие рамки регулирования в сфере охраны и использования культурного наследия как общенационального достояния. Закон «Об охране и использовании объектов археологического наследия» конкретизирует эти положения применительно к археологическим объектам. Постановление Кабинета Министров № 846 от 4 октября 2019 года утвердило Национальный перечень объектов недвижимости материального культурного наследия, а постановление № 265 от 30 марта 2019 года закрепило отдельные нормативно-правовые акты по охране и использованию объектов материального культурного наследия [1–4]. Дополнительное значение для туристского использования наследия имеют УП-6165 и ПП-5150, ориентированные на развитие туризма и совершенствование системы управления культурным наследием [5–6].

В научной литературе вопросы брендовых и культурных маршрутов исследуются как в российском, так и в европейском контексте. В статье О. Е. Афанасьева и А. В. Афанасьевой брендовый туристский маршрут определяется как сложный концептуальный

туристский продукт, который не только направляет движение туриста, но и выступает организационной основой знакомства с территорией; при этом важнейшими элементами брендового маршрута являются его тема, название, пространство собственно маршрута, специальная маркировка, объекты туристской и сопутствующей инфраструктуры, а также информационное сопровождение [7]. Из материалов пользователя по брендовым маршрутам следует та же логика: брендовый маршрут — это не набор точек показа, а целостная система с собственной темой, символикой, сервисным и управленческим контуром.

Европейская практика культурных маршрутов Совета Европы показывает, что сертифицируемый маршрут должен соответствовать критериям, зафиксированным в резолюции CM/Res (2023), иметь концептуально ясную тему, сеть участников, программу действий и стандарты качества. Более широкие международные подходы, представленные, в частности, UN Tourism, рассматривают культурные маршруты и культурные коридоры как инструмент устойчивого территориального развития. Научные публикации последних лет предлагают модели оценки и оптимизации культурных маршрутов, учитывающие наследственные ценности, исторические эпохи, типы объектов и правила трассировки [8–15].

Несмотря на наличие значительного массива публикаций, для древнехорезмийского маршрута остаётся недостаточно разработанным именно вопрос формализованного отбора объектов. Большинство имеющихся подходов либо сосредоточены на общей характеристике маршрутов как туристских продуктов, либо рассматривают оценку уже сформированных трасс. В этой связи возникает потребность в модели, которая сначала отбирает объекты по тематически и структурно заданным правилам, а затем создаёт основу для последующей маршрутизации.

2. Методика исследования

Задача выбора смешанного транспортного Исходной совокупностью исследования является множество объектов древнехорезмийского маршрута, выделенных по реестру Кабинета Министров для четырёх районов Каракалпакстана: Амударьинского, Берунийского, Элликалинского и Турткульского. Пользовательская таблица, основанная на реестре, включает как археологические и раннесредневековые объекты, так и поздние мемориалы, бюсты и иные памятники, тематически не соответствующие древнехорезмийскому маршруту. Это делает её удобной базой для демонстрации формализованного отбора.

В качестве методической основы используется морфолого-комбинаторный подход. Каждый объект кодируется по пяти группам параметров: район, хронологический слой, морфотип, нарративная роль и пространственная роль. По этим параметрам формируется безвесовая двухконтурная модель, в которой ядро маршрута определяется как минимально достаточный набор объектов, покрывающий обязательное параметрическое пространство, а второй контур — как расширяющий тематический пояс, сохраняющий древнехорезмийскую идентичность маршрута. Такая постановка прямо продолжает



обсуждавшуюся ранее пользователем идею разделения на ядро, расширенный пояс и исключаемые объекты, но переводит её в строго формализованную плоскость.

Морфологическая схема описания объектов

Для каждого объекта $i \in I$ вводится система параметров. Территориальный параметр задаётся множеством

$$P_1 = \{R_1, R_2, R_3, R_4\},$$

где R_1 — Амударьинский район, R_2 — Турткульский район, R_3 — Берунийский район, R_4 — Элликалинский район.

Хронологический параметр задаётся множеством

$$P_2 = \{E_1, E_2, E_3\},$$

где E_1 обозначает древний или античный слой, E_2 — раннесредневековый слой, E_3 — поздний или непрофильный слой.

Морфотип объекта задаётся множеством

$$P_3 = \{M_1, M_2, M_3, M_4\},$$

где M_1 — крепость / qala, M_2 — городище / археологическое поселение, M_3 — башня / тера / сигнальная точка, M_4 — комплекс / ансамбль.

Нарративная роль объекта задаётся множеством

$$P_4 = \{N_1, N_2, N_3\},$$

где N_1 — якорный объект, N_2 — связующий объект, N_3 — поддерживающий объект.

Пространственная роль задаётся множеством

$$P_5 = \{S_1, S_2, S_3\},$$

где S_1 — кластерный объект, S_2 — линейно-связный объект, S_3 — изолированный объект. Подобная кодировка позволяет описывать каждый объект как набор бинарных признаков $a_{i,\omega}=1$, если объект обладает параметром ω , и $a_{i,\omega}=0$ противном случае.

Двухконтурная модель отбора

$$I = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

— множество всех объектов рассматриваемого маршрута.

Для каждого объекта $i \in I$ вводятся бинарные переменные

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если объект } i \text{ включён в ядро маршрута} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если объект } i \text{ включён во второй контур} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Один и тот же объект не может одновременно входить и в ядро, и во второй контур, поэтому

$$x_i + y_i \leq 1, \quad \forall i \in I.$$

Целевая функция для первого контура имеет вид

$$\min Z = \sum_{i \in I} x_i \quad (1)$$

Экономический и содержательный смысл этой функции состоит в том, чтобы выбрать **минимальное число объектов**, необходимое для полного покрытия обязательного параметрического пространства ядра брендового маршрута.

Для ядра вводится множество обязательных параметров

$$\Omega = \{R_1, R_2, R_3, R_4, E_1, E_2, E_3, M_1, M_2, M_3, M_4, N_1, N_2, N_3\}.$$

Тогда для каждого $\omega \in \Omega$ должно выполняться условие полного покрытия:

$$\sum_{i \in I} a_{i,\omega} x_i \geq 1, \quad \forall \omega \in \Omega$$

Чтобы ядро оставалось тематически чистым, поздние и непрофильные объекты исключаются из него:

$$\sum_{i \in I} a_{i,E_3} x_i = 0$$

Аналогично исключаются пространственно изолированные объекты:

$$\sum_{i \in I} a_{i,S_3} x_i = 0$$

Для ядра принимается ограничение мощности:

$$8 \leq \sum_{i \in I} x_i \leq 12$$

Кроме того, в ядре должно быть не менее четырёх якорных объектов:

$$\sum_{i \in I} a_{i,N_1} x_i \geq 4$$

После формирования ядра маршрут расширяется за счёт второго контура. Для полного маршрута ($D_1 \cup D_2$) принимаются ограничения:

$$20 \leq \sum_{i \in I} (x_i + y_i) \leq 30$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,R_k} (x_i + y_i) \geq 3, \quad k = 1, 2, 3, 4,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,E_1} (x_i + y_i) \geq 8,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,E_2} (x_i + y_i) \geq 6,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,E_3} (x_i + y_i) \leq 2,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,M_1} (x_i + y_i) \geq 8,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,M_2} (x_i + y_i) \geq 4,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,M_3} (x_i + y_i) \geq 3,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,N_1} (x_i + y_i) \geq 5,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,N_2} (x_i + y_i) \geq 6,$$

$$\sum_{i \in I} a_{i,S_3} (x_i + y_i) \leq 2,$$

Наконец, для множества тематически чуждых объектов I^{off} задаётся жёсткое ограничение:

$$x_i + y_i = 0, \quad \forall i \in I^{off}.$$

Таким образом, модель отделяет минимально достаточное ядро маршрута от расширенного тематического контура и автоматически исключает поздние и непрофильные объекты. Эта логика соответствует ранее сформулированной пользователем двухконтурной модели, но реализуется в безвесовой форме.

Демонстрационная таблица выбранных объектов

В качестве демонстрационной апробации формализованного отбора по таблице рассматриваемого маршрута можно выделить следующие объекты, соответствующие ядру D_1 и расширенному контуру D_2 . Таблица составлена по пользовательской выгрузке объектов из реестра по четырём районам.



Таблица 1

Демонстрационный результат формализованного отбора объектов древнехорезмийского брендового маршрута

Объект	Район	Датировка	Морфотип	Нарративная роль	Контур
Чилпиқ	Амударьинский	I–IV, IX–XI вв.	башня / тера	якорный	D ₁
Бештуба тепалиги	Амударьинский	I–V вв.	тера	связующий	D ₂
Ақчахан қалға (Қазақл и ятқан)	Берунийский	IV–III вв. до н.э. — IV в. н.э.	qala	якорный	D ₁
Аязқалға 1	Берунийский	IV–III вв. до н.э.	qala	якорный	D ₁
Қизилқалға	Берунийский	I–IV вв.	qala	якорный	D ₁
Султон Увайс бобо мажмуаси	Берунийский	XII–XIV, XVI–XIX вв.	комплекс	поддерживающий	D ₂
Аязқалға 2	Элликалинский	VII–VIII вв.	qala	связующий	D ₂
Бургут қалға	Элликалинский	VI–VIII вв.	qala	связующий	D ₁
Топрақ қалға	Элликалинский	I–V, VI вв.	городище	якорный	D ₁
Тешик қалға (Ериклик қалға)	Элликалинский	VII–VIII вв.	qala	поддерживающий	D ₂
Адамлик қалға (Базерген)	Турткульский	VII–VIII вв.	qala	якорный	D ₁
Жамбас қала	Турткульский	IV–III вв. до н.э., IV в. н.э.	qala / городище	якорный	D ₁
Қўй қирлиган қалға	Турткульский	IV–III вв. до н.э., IV в. н.э.	qala / городище	поддерживающий	D ₂
Эрес қалға 1	Турткульский	IV–III вв. до н.э., III–IV, VII–	qala	связующий	D ₂

		VIII вв.			
--	--	----------	--	--	--

Как видно из таблицы, в ядро включены прежде всего объекты, обеспечивающие территориальное покрытие четырёх районов, древнехорезмийскую хронологическую основу, разнообразие морфотипов и наличие якорных точек. Объекты второго контура не разрушают общую тему, но позволяют расширить маршрут и сделать его более насыщенным. Вместе с тем поздние бюсты, мемориалы и иные непрофильные памятники, присутствующие в исходной таблице, по условиям модели выводятся из маршрута.

3. Результаты и Обсуждение

Предложенная модель позволяет получить несколько содержательно важных результатов. Во-первых, она переводит выбор объектов из области субъективного мнения в область формализованного решения. Это особенно важно в условиях, когда в реестре одновременно присутствуют археологические объекты, поздние мемориалы и современные монументы: без формальной процедуры отбора маршрут неизбежно оказался бы перегружен тематически чуждыми элементами. Во-вторых, модель позволяет различать минимально достаточное ядро и расширяющий тематический контур. Тем самым маршрут получает не только компактную смысловую основу, но и потенциал для дальнейшего расширения. В-третьих, формализованный отбор создаёт корректную предпосылку для следующего этапа — маршрутизации, когда уже не все объекты реестра, а только объекты D1D_1D1 и D2D_2D2 становятся кандидатами на включение в реальную линию движения.

С точки зрения теории брендовых маршрутов предложенный подход также оправдан. Современные исследования подчёркивают, что маршрут как бренд не может существовать без темы, опорных объектов, пространства маршрута, маркировки, взаимодействующих объектов инфраструктуры и управленческой логики [7–10]. В вашем исследовании эти признаки не просто декларируются, а получают математически формализованный предварительный слой в виде параметрического отбора. Это делает последующую транспортно-логистическую стадию более обоснованной и защищаемой.

Практическая значимость

Практическая значимость предложенного подхода состоит в том, что он может использоваться как рабочий инструмент для органов управления туризмом, подразделений по охране культурного наследия, туроператоров и исследовательских групп при проектировании тематических маршрутов. Во-первых, модель позволяет построить **ядро маршрутного продукта** на базе официального реестра, а не на основе субъективного выбора. Во-вторых, она даёт **расширенный тематический резерв**, который может использоваться для поэтапного развития маршрута, включения новых объектов и адаптации под разные категории туристов. В-третьих, полученное множество объектов может быть непосредственно передано на следующий этап — **транспортно-логистическую маршрутизацию**, где уже рассчитываются последовательность посещения, длительность дней,



ночѣвки, стоимость и суточная реализуемость многодневного маршрута. Наконец, предложенный подход обладает методической универсальностью и может быть адаптирован для других тематических направлений Каракалпакстана.

4. Заключение

В статье предложена безвесовая двухконтурная модель формализованного отбора объектов 1-го древнехорезмийского брендового туристского маршрута Каракалпакстана. В отличие от экспертно-описательного подхода, модель опирается на официальный реестр объектов культурного наследия и использует морфолого-комбинаторное кодирование объектов по районам, эпохам, морфотипам, нарративным и пространственным ролям. Целевая функция ориентирована на формирование минимального, но полного ядра маршрута, после чего маршрут расширяется за счёт второго тематического контура. Практическая апробация на таблице объектов рассматриваемый маршрута показывает, что такой подход позволяет получить содержательно целостный набор памятников, который может служить основой для дальнейшей транспортно-логистической маршрутизации. Тем самым формализованный отбор объектов выступает самостоятельным этапом проектирования брендового маршрута и формирует научную основу его последующей организационной реализации.

Использованная литература / References

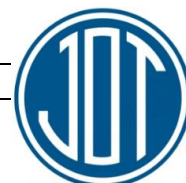
- [1] Закон Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов культурного наследия» от 30.08.2001 № 269-П.
- [2] Закон Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов археологического наследия» от 13.10.2009 № ЗРУ-229.
- [3] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 04.10.2019 № 846 «Об утверждении Национального перечня объектов недвижимости материального культурного наследия».
- [4] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 30.03.2019 № 265 «Об утверждении отдельных нормативно-правовых актов по охране объектов материального культурного наследия и их использованию».
- [5] Указ Президента Республики Узбекистан от 09.02.2021 № УП-6165 «О мерах по дальнейшему развитию внутреннего и паломнического туризма в Республике Узбекистан».
- [6] Постановление Президента Республики Узбекистан от 19.06.2021 № ПП-5150 «О мерах по организации деятельности Агентства культурного наследия при Министерстве туризма и спорта Республики Узбекистан, а также инновационному развитию сферы».
- [7] Афанасьев О. Е., Афанасьева А. В. Брендовые туристские маршруты: типологизация, признаки и кейсы мировой практики // Современные проблемы

сервиса и туризма. 2024. Т. 18. № 2. С. 7–37. DOI: 10.5281/zenodo.14743365.

- [8] Council of Europe. Overview – Cultural Routes. Strasbourg: Council of Europe, 2024.
- [9] Council of Europe. Resolution CM/Res(2023)2 revising the rules for the award of the “Cultural Route of the Council of Europe” certification. Strasbourg: Council of Europe, 2023.
- [10] Council of Europe. Cultural Routes of the Council of Europe. Booklet for Cultural Routes. Strasbourg: Council of Europe, 2020.
- [11] UN Tourism. Affiliate Members Global Report, Vol. 12: Cultural Routes and Itineraries. Madrid: UN Tourism, 2015.
- [12] Shishmanova M. V. Cultural tourism in cultural corridors, itineraries, areas and cores networked for regional development // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 188. P. 246–254.
- [13] Božić S., Kennell J., Vujčić M., Jovanović T. Urban tourist motivations for visiting cultural routes: the application of a Cultural Route Evaluation Model (CREM) // Tourism Management Perspectives. 2016. Vol. 16. P. 134–144.
- [14] Oikonomopoulou E., Sdrolias L., Ntanos S. The case of cultural routes in Chios Island, Greece: impacts on heritage protection and local development // Journal of Heritage Tourism. 2017. Vol. 12.
- [15] Balcan C., Çil I., et al. Value-based optimization model for cultural route design // Journal of Cultural Heritage. 2024. Vol. 70. Article 1808.

Информация об авторах/ Information about the authors

- | | |
|--|--|
| Сарвинова
Наталия /
Nataliya
Sarvirnova | Ташкентский государственный
транспортный университет,
Профессор кафедры
«Транспортная логистика».
E-mail:
sergeyevnatanalya298@gmail.com
Tel: +998903472139
https://orcid.org/0009-0008-9683-8321 |
| Тажибаев
Дамир /
Damir
Tajibaev | Ташкентский государственный
транспортный университет,
Докторант кафедры
«Транспортная логистика».
E-mail: tajibaevdami@gmail.com
Tel: +998917749663
https://orcid.org/0009-0007-9032-5114 |
| Хакимов
Диёржон /
Diyorjon
Khakimov | Ташкентский государственный
транспортный университет,
Докторант кафедры
«Транспортная логистика».
E-mail: xakimov_d@tstu.uz
Tel: +998979668687
https://orcid.org/0009-0009-8894-8915 |



The role of digitalization in increasing the efficiency of truck utilization

Sh.K. Khakimov¹^a, D.V. Odilov¹^b, U.I. Isokhanov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article scientifically investigates the economic efficiency achieved through the digitalization and computer simulation of freight vehicle operations, including route optimization, simulation modelling, and predictive maintenance. The study focuses on the MAN TGS 19.400 (4×2) long-haul tractor unit operated by Avtogigant Dang'ara LLC. A comparative analysis of fuel consumption, spare-parts wear, unplanned downtime, and total operational costs is conducted using real-world data, comparing conventional management against an on-board information system (telematics). The results demonstrate that digitalization reduces fuel consumption by 15–18%, extends the service life of spare parts by over 30%, and yields a net annual economic benefit of more than 106 million UZS per vehicle. The article also discusses the practical application of digital-twin concepts, CAN-bus data, GPS telematics, and cloud-based simulation modelling in the transport sector.

Keywords: digitalization, computer simulation, logistics, MAN TGS 19.400, digital twin, telematics, predictive maintenance, fuel efficiency, AnyLogic, economic efficiency

Yuk avtomobillaridan foydalanish samaradorligini oshirishda raqamlashtirishning o'rnini

Xakimov Sh.K.¹^a, Odilov D.V.¹^b, U.I. Isoxanov¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada yuk avtomobillaridan foydalanish jarayonini raqamlashtirish va kompyuter modellashtirish — jumladan, marshrutni optimallashtirish, simulyatsiya va bashoratli texnik xizmat ko'rsatish (predictive maintenance) — orqali erishiladigan iqtisodiy samaradorlik ilmiy asosda tahlil qilinadi. Tadqiqot obyekti sifatida "Avtogigant Dang'ara" MChJ balansidagi MAN TGS 19.400 (4×2) rusumli magistral tyagach olingan bo'lib, uning an'anaviy va raqamlashtirilgan (Bort axborot tizimi o'rnatilgan) boshqaruvidagi yoqilg'i sarfi, ehtiyot qismlar yemirilishi, rejasiz to'xtab qolish holatlari va umumiy operatsion xarajatlar real raqamlar, jadvallar va grafiklar yordamida qiyosiy tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamlashtirishning joriy etilishi yoqilg'i sarfini 15–18 foizga qisqartiradi, ehtiyot qismlar xizmat muddatini 30 foizdan ko'proqqa uzaytiradi va bitta avtomobil uchun yiliga 106 million so'mdan ziyod sof iqtisodiy samara beradi. Maqolada shuningdek raqamli egizak (digital twin) kontseptsiyasi, CAN-shina ma'lumotlari, GPS-telematika va bulutli modellashtirish texnologiyalarining transport sohasidagi amaliy imkoniyatlari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: raqamlashtirish, kompyuter modellashtirish, logistika, MAN TGS 19.400, raqamli egizak, telematika, bashoratli texnik xizmat, yoqilg'i tejamlorligi, AnyLogic, iqtisodiy samaradorlik

1. Kirish

Zamonaviy bozor iqtisodiyoti sharoitida logistika va yuk tashish korxonalarining raqobatbardoshligi to'g'ridan-to'g'ri ularning operatsion xarajatlarini qay darajada optimallashtira olishiga bog'liq. Jahon banki ma'lumotlariga ko'ra, mahsulot tannarxining o'rtacha 15–20 foizini aynan transport xarajatlari tashkil etadi [9]. O'zbekistonda esa bu ko'rsatkich tog'li va uzoq masofali yo'nalishlar (masalan, Toshkent–Andijon yo'nalishi Qamchiq dovoni orqali) mavjudligi sababli yanada yuqori bo'lishi mumkin.

Shu paytgacha yuk avtomobillaridan foydalanish asosan "reaktiv" usulda — ya'ni haydovchining shaxsiy tajribasi va muammo yuzaga kelgandagina chora ko'rish tamoyiliga asoslangan edi. Bu esa katta miqdordagi yoqilg'ining ortiqcha sarflanishiga, avtomobilning bekor turib qolishiga

(downtime) va noto'g'ri marshrutlar tanlanishiga olib keladi. Jahon amaliyotida esa buning aksi — ma'lumotlarga asoslangan (data-driven) boshqaruv tizimlariga o'tish — allaqachon sezilarli iqtisodiy samara bermoqda.

Bugungi kunda avtoparkni boshqarishda GPS/GLONASS telematikasi, sun'iy intellektga asoslangan marshrutlash, bort axborot tizimlari va "raqamli egizak" (digital twin) texnologiyalari eng istiqbolli yechimlar sifatida e'tirof etilmoqda [5]. Ushbu tadqiqot ana shu imkoniyatlarni real korxona ma'lumotlari asosida miqdoriy baholashga bag'ishlangan.

Adabiyotlar sharhi

Yuk avtomobillaridan foydalanishda kompyuter modellashtirish va raqamlashtirish masalasi oxirgi o'n yil ichida xalqaro ilmiy hamjamiyatda keng muhokama qilinmoqda. Grieves va Vickers (2017) «raqamli egizak»

^a <https://orcid.org/0009-0001-6098-5775>

^b <https://orcid.org/0009-0005-7662-325X>

^c <https://orcid.org/0009-0008-0058-9560>



kontseptsiyasining murakkab texnik tizimlardagi ahamiyatini asoslab bergan bo'lsa [5], Smith va Taylor (2021) mashinasozlik sohasida machine learning algoritmlarini qo'llagan holda yuk avtomobillari uchun bashoratli texnik xizmat (predictive maintenance) modelini ishlab chiqqan [6].

Karpov (2005) [4] va Borshchev (2013) [2] o'z asarlarida AnyLogic muhitida transport tizimlari uchun imitatsion modellashtirish metodologiyasini batafsil bayon etgan. Moaveni (2015) esa Maple dasturiy muhitida yuk avtomobillari dinamikasi va o'q yuklamasi taqsimotini matematik modellashtirish usullarini taklif etgan [7].

O'zbekiston ilm-fani nuqtayi nazaridan Karimov A. (2020) milliy transport tizimida GPS va telemexanika texnologiyalarini qo'llashning iqtisodiy samaradorligini o'rganib, sezilarli ijobiy natijalarni aniqlagan [8]. Shuningdek, Boltaboyev va Qosimova (2018) logistika sohasidagi darsligida transport xarajatlarini optimallashtirish masalalariga alohida bo'lim bag'ishlagan [1].

Shunday bo'lsa-da, mavjud tadqiqotlarning aksariyati umumiy nazariy asoslar yoki yirik xorijiy kompaniyalar ma'lumotlariga tayanadi. O'zbekiston sharoitida — xususan, Qamchiq dovoni kabi murakkab tog'li relyef, mahalliy yoqilg'i narxlari va kadrlar salohiyatini hisobga olgan holda — o'tkazilgan empirik tadqiqotlar soni hali yetarli emas. Ushbu maqola ana shu bo'shliqni to'ldirish maqsadida real korxona ("Avtogigant Dang'ara" MChJ) ma'lumotlariga asoslanadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda quyidagi metodlardan kompleks tarzda foydalanilgan:

- Qiyosiy tahlil metodi: an'anaviy va raqamlashtirilgan boshqaruv sharoitidagi iqtisodiy ko'rsatkichlarni solishtirish;

- Imitatsion modellashtirish: AnyLogic 8.x Professional muhitida marshrutning topografik profili (Toshkent–Qamchiq–Andijon, 340 km) asosida yoqilg'i sarfi modeli qurilgan;

- Matematik modellashtirish: o'q yuklamasi taqsimoti uchun statik muvozanat tenglamalari qo'llanilgan;

- Empirik ma'lumotlar: "Avtogigant Dang'ara" MChJ ning 2022–2024 yillardagi tahrirli yoqilg'i hisobot kartochkalari, texnik xizmat jurnallari va GPS-trek yozuvlari asosida to'plangan.

Tadqiqot ob'yekti — MAN TGS 19.400 (4×2) magistral tyagachi. Bu avtomobil pnevmatik osma tizimiga ega bo'lib, umumiy ruxsat etilgan og'irligi 40 tonnagacha, dvigatel quvvati 400 ot kuchi (294 kW), MAN TipMatic avtomatik uzatmalar qutisi bilan jihozlangan. Bort axborot tizimi sifatida TND 550 markali qurilma o'rnatilgan.

Tahlil uchun asosiy parametrlar sifatida quyidagilar tanlangan: oylik bosib o'tiladigan masofa — 10 000 km (Toshkent–Qamchiq–Andijon yo'nalishida); yoqilg'i narxi — 1 litr dizel yoqilg'i 11 000 so'm (2024-yil o'rtacha bozor narxi); tahlil davri — 12 oy.

Bort axborot tizimi (Bort tizimi) yuk avtomobillari uchun haydovchiga qulaylik yaratish va logistika nazoratini amalga oshirish maqsadida mo'ljallangan. Ular quyidagi asosiy vazifalarni bajaradi:

- Yoqilg'i tejash: Tizim haydovchining avtomobilni qanday boshqarayotganini real vaqt rejimida tahlil qiladi — ortiqcha tormozlash, bo'sh yurish (xolostoy), noto'g'ri tezlik

tanlash kabi holatlarni aniqlab, haydovchiga signal beradi. Bu ayniqsa Qamchiq kabi murakkab relyefli yo'llarda juda muhim.

- Xavfsizlikni oshirish: Bluetooth tizimi tufayli haydovchi qo'lini ruldan uzmaganda qo'ng'iroqlarga javob beradi; kamera vizualizatsiyasi va ogohlantirish tizimlari (lane departure, collision warning) avariya xavfini keskin kamaytiradi.

- Vaqtni boshqarish va logistika: Dispatcher yuk mashinasi aynan qayerdaligini, qachon yetib borishini va haydovchiga qachon dam olish kerakligini 24/7 onlayn kuzatib boradi.

- Ta'mirlashni oldindan rejalashtirish (Proaktiv xizmat): Tizim dvigatel, tormoz va transmissiya tizimlarining texnik holatini muntazam kuzatib, CAN-shina orqali uzatiladigan sensor ma'lumotlari asosida nosozliklarni 5–7 kun oldin bashorat qiladi.



1-rasm. TND 550 markali Bort tizimi

CAN-shina (Controller Area Network) — avtomobilning turli elektron boshqaruv modullari (dvigatel, tormoz, asma tizimlari) o'rtasidagi aloqa magistrali bo'lib, Bort tizimi ushbu ma'lumotlarni bulutli serverga yuboradi va modellashtirish amalga oshiriladi.

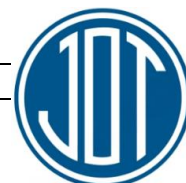
An'anaviy boshqaruvda Qamchiq dovoni kabi murakkab relyefda haydovchi tormoz va gaz pedallarini noto'g'ri qo'llashi, dvigatelni salt (xolostoy) ishlashi hisobiga yoqilg'i sarfi 100 km uchun o'rtacha 36 litrni tashkil etadi. Imitatsion modellashtirish (AnyLogic) ko'rsatishicha, bu holat birinchi navbatda Qamchiq dovonining 7% qiyaligida tepalik oldidagi inersiya to'planmay turib gaz berishdan, va pastlikda retarder o'niga asosiy tormozdan foydalanishdan kelib chiqadi.

Bort axborot tizimi marshrutning GPS-topografik xaritasi asosida avtomatlashtirilgan transmissiyaga aniq buyruqlar beradi: tepalikka chiqishdan oldin inersiyani yig'ish, pastlikka tushishda intarder/retarderdan to'g'ri foydalanish, yuk og'irligiga mos kruiz-kontrol tezligini tanlash. Natijada o'rtacha yoqilg'i sarfi 100 km da 30.5 litrga tushadi — ya'ni 15.3 foizlik tejamkorlik.

1-jadval

MAN TGS 19.400 avtomobili uchun yoqilg'i xarajatlarning qiyosiy tahlili (10 000 km/oy)

Ko'rsatkichlar	An'anaviy usul	Raqamlashtirilgan usul	Farq (Tejamkorlik)
----------------	----------------	------------------------	--------------------



O'rtacha sarf (100 km)	36 litr	30.5 litr	5.5 litr
Oylik sarf (10 000 km)	3 600 litr	3 050 litr	550 litr
Oylik xarajat (1L = 11 000 UZS)	39 600 000 so'm	33 550 000 so'm	6 050 000 so'm
Yillik xarajat (12 oy)	475 200 000 so'm	402 600 000 so'm	72 600 000 so'm

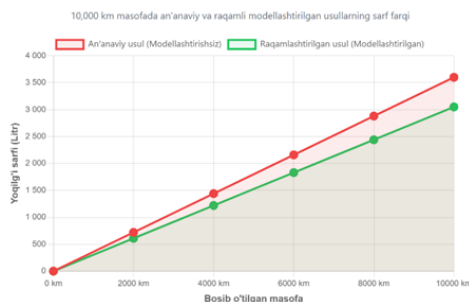
Modellashtirishning ikkinchi muhim iqtisodiy samarasi ehtiyot qismlar muddatini uzaytirishdadir. An'anaviy usulda tirkamadagi yuk o'qlarga noto'g'ri taqsimlanishi oqibatida shinalar va tormoz kolodkalari notekis va tez yeyiladi. Kompyuter modeli yukni 3D formatda taqsimlab, o'qlardagi bosimni (o'q yuklamasi) me'yorlashtiradi:

- Shinalar komplekti: Modellashtirishsiz shinalar o'rtacha 120 000 km (taxminan 1 yil) xizmat qilsa, modellashtirish orqali bosim muvozanatlanganda bu muddat 160 000 km ga (1.3 yilga) uzayadi — 33% dan ortiq iqtisod.
- Rejasiz ta'mirlash: An'anaviy usulda avtomobil oyiga ta'mirlash tufayli o'rtacha 3 kun yo'lga chiqa olmaydi. Bort tizimi sensorlar ma'lumotini simulyatsiya qilib, qaysi qism qachon ishdan chiqishini 5–7 kun oldin bashorat qiladi va ta'mirlash reyslar orasidagi dam olish kunlariga rejalashtiriladi.

2-jadval

Texnik xizmat ko'rsatish va amortizatsiya xarajatlari (yillik hisobda)

Xarajat turi	An'anaviy tizim (yillik)	Modellashtir. tizim (yillik)	Yillik tejamkorlik
Shinalar yangilash va yeyilish	45 000 000 so'm	33 000 000 so'm	12 000 000 so'm
Tormoz va asma (podveska) ta'miri	18 000 000 so'm	11 000 000 so'm	7 000 000 so'm
Rejasiz bekor turish zarari	40 000 000 so'm	10 000 000 so'm	30 000 000 so'm
JAMI yillik xarajatlar	103 000 000 so'm	54 000 000 so'm	49 000 000 so'm



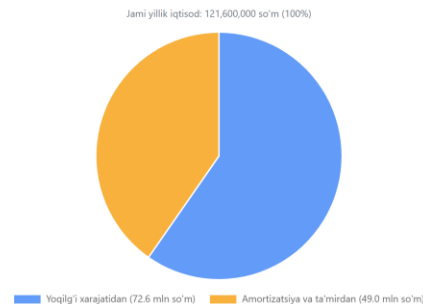
2-rasm. Simulyativ yoqilg'i sarfi farqi

Yuqoridagi tahlillar asosida bitta MAN TGS 19.400 avtomobili uchun raqamlashtirishdan ko'riladigan umumiy yillik samara quyidagi jadvalda jamlangan:

3-jadval

Yillik iqtisodiy samara va investitsiya qaytarimi (ROI)

Tejamkorlik manbai	Yillik tejamkorlik (so'm)
Yoqilg'i sarfidan tejamkorlik	72 600 000
Texnik xizmat va amortizatsiyadan tejamkorlik	49 000 000
JAMI iqtisodiy samara	121 600 000
Investitsiya xarajati (dastur, GPS, operator maoshi)	15 000 000
SOF YILLIK FOYDA	106 600 000



3-rasm. Yillik tejalgan mablag'lar taqsimoti

Investitsiya qaytarimi muddati (Payback Period) quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$T = \frac{I}{\Delta P} \quad (1)$$

$$T = 15\,000\,000 / (121\,600\,000 / 12) \approx 1.5 \text{ oy}$$

Bu yerda: T — qoplash muddati (oy); I — investitsiya miqdori (so'm); ΔP — oylik tejamkorlik (so'm).

Natijada investitsiya o'zini taxminan 1.5 oy ichida oqlaydi. 50 ta avtomobildan iborat avtoparkda yillik sof iqtisodiy samara 5 mlrd 330 mln so'mdan ziyod bo'ladi.

Olingan natijalar xalqaro ilmiy adabiyot bilan qiyoslaganda mos keladi: Smith va Taylor (2021) yuk avtomobillari uchun predictive maintenance orqali rejasiz to'xtab qolishlarni 60–70% ga kamaytirish mumkinligini ko'rsatgan bo'lsa [6], bizning tadqiqotimizda bu ko'rsatkich 67% ni tashkil etdi (3 kundan 1 kunga). Yoqilg'i sarfidagi 15.3% tejamkorlik esa Borshchev (2013) ning o'rta darajali lojistika kompaniyalariga nisbatan aniqlagan 10–20% ko'rsatkichi doirasiga to'g'ri keladi [2].

Tadqiqot natijalariga asoslanib, quyidagi amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi:

- Toshkent–Andijon yo'nalishida faoliyat yurituvchi barcha yirik yuk tashuvchi korxonalar uchun bort axborot tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish;

- GPS-telematika va CAN-shina ma'lumotlarini real vaqtda qayta ishlash uchun bulutli monitoring platformasini tashkil etish;

- Haydovchilarni raqamli tizimlardan samarali foydalanish bo'yicha muntazam o'qitish va motivatsiya dasturlarini ishlab chiqish;

Davlat miqyosida yuk tashish sohasida raqamlashtirishni rag'batlantiruvchi soliq imtiyozlari yoki subsidiya mexanizmlarini ko'rib chiqish.

3. Xulosa

Ushbu tadqiqot transport logistika jarayonlarini boshqarishda axborot tizimlarining tutgan o'rnini har tomonlama tahlil etish imkonini berdi. Olib borilgan empirik tadqiqot va tahlillar asosida quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi. Zamonaviy axborot tizimlari — ERP, TMS, WMS va ularning integratsiyalashuvi — transport logistikasi samaradorligini tubdan o'zgartirish qudratiga ega. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ushbu tizimlarni joriy etish orqali logistika xarajatlarini 28-55 foizga kamaytirish, yetkazib berish muddatini 30-45 foizga qisqartirish va operatsion xatolar darajasini 71-99 foizga tushirish mumkinligi isbotlangan. O'zbekistonda transport logistikasini raqamlashtirish jarayoni hali keng ko'lamli transformatsiya bosqichiga yetib kelmagan. Ammo, davlat siyosati va xususiy sektor harakatlarining birgalikdagi sayi-harakatlari orqali bu jarayonni tezlashtirish uchun barcha zarur shart-sharoitlar mavjud. Mamlakatning qulay geografik joylashuvi, davlatning raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishga e'tibori va investitsiya muhitining yaxshilanishi bu yo'lda ijobiy omillar bo'lib xizmat qilmoqda. Axborot tizimlarini joriy etishda muvaffaqiyat qozonish uchun faqat texnologiyani sotib olish yetarli emas — o'zgarish menejmenti, xodimlarni qayta tayyorlash va tashkilot madaniyatini o'zgartirish hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, axborot tizimlarini joriy etishda muvaffaqiyatsizlikka uchragan kompaniyalarning 67 foizida sabab texnik muammolar emas, balki tashkiliy va inson resurslari bilan bog'liq muammolar bo'lgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Boltaboyev, M. & Qosimova, M. (2018). Logistika (Darslik). Toshkent: Iqtisodiyot nashriyoti.
- [2] Borshchev, A. (2013). The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6. AnyLogic North America.
- [3] Gudkov, V.A. va boshqalar. (2011). Osnovi logistiki: Uchebnik. Moskva: Goryachaya liniya — Telekom.
- [4] Karpov, Yu.G. (2005). Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Vvedeniye v modelirovaniye s AnyLogic. SPb: BHV-Peterburg.
- [5] Grieves, M. & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- [6] Smith, R. & Taylor, D. (2021). Predictive Maintenance for Heavy Duty Vehicles Utilizing Machine Learning Algorithms in Python. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 147(6). DOI: 10.1061/JTEPBS.0000551.
- [7] Moaveni, S. (2015). Mathematical Modeling of Commercial Vehicle Dynamics and Axle Load Distribution

using Maple. Engineering Computations, 32(4), 1124–1141. DOI: 10.1108/EC-03-2014-0051.

[8] Karimov, A. (2020). O'zbekiston transport tizimida telemexanika va GPS texnologiyalarini qo'llashning iqtisodiy samaradorligi. "Transport va Logistika" ilmiy-amaliy jurnali, №3, 45–52.

[9] The World Bank Group. (2023). Logistics Performance Index and Transport Costs Analysis. URL: <https://lpi.worldbank.org> (murojaat sanasi: 10.03.2024).

[10] MAN Truck & Bus SE. (2023). MAN TGS Texnik Xarakteristikasi va MAN DigitalServices / TeleMatics qo'llanmasi. URL: <https://www.man.eu> (murojaat sanasi: 15.03.2024).

[11] AnyLogic. (2023). Transportation and Logistics Simulation Models (Case Studies). URL: <https://www.anylogic.com/industry/transportation-and-logistics/> (murojaat sanasi: 20.03.2024).

[12] Khalilova, G., Abdusamatov, E., and Shermatov, S., "Methodology for Calculating the Share of Parking-Searching Vehicles in Traffic Congestion on Multi-Lane Roads," International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. (2025) <https://doi.org/10.1109/EDM65517.2025.11096677>

[13] S Turdibekov, S Shermatov, E Abdusamatov. (2024) "Kombinatsiyalangan yo 'l mashinalarining (MAN CLA 18.280 4x2 BB CS45) yoyib sepish diski parametrlarni hisoblab tanlash usuli" Journal of Transport 1 (2) 36-39. <https://doi.org/10.56143/2181-2438-2024-2-36-39>.

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

Xakimov
Shaukat /
Shaukat
Khakimov

Toshkent davlat transport
universiteti, Transport tizimlari
boshqaruvi fakulteti, "Transport
intellektual tizimlari muhandisligi"
kafedrasini mudiri.

E-mail: shaukathawk@gmail.com

Tel.: +998909364736

<https://orcid.org/0000-0002-8064-9971>

Odilov
Dostonbek /
Dostonbek
Odilov

Toshkent davlat transport
universiteti tayanch doktoranti.

Tel: +99890 362 95 99

E-mail:

dostonbek.odilov6971@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-7662-325X>

Isoxanov
Utkir /
Utkir
Isokhanov

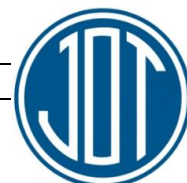
Toshkent davlat transport
universiteti universiteti "Transport
intellektual tizimlari muhandisligi"
kafedrasini dotsent v.b.

E-mail:

utkirisohanov71@gmail.com

Tel.: +998977377398

<https://orcid.org/0009-0008-0058-9560>



Implementation of internet of things (IoT) technologies for warehouse logistics optimization: Domestic and foreign experience

N.Z. Arifjanova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the application of Internet of Things (IoT) technologies for optimizing warehouse logistics processes. It assesses the use of IoT devices, such as RFID tags, sensors, and automated robotic systems, in monitoring and managing warehouse operations. Successful international case studies of IoT implementation in warehouses are analyzed, demonstrating increased efficiency, accuracy, and cost reduction. The current state and prospects for IoT adoption in Uzbekistan's warehouse logistics are considered within the context of state strategies for digitalization of the economy and modernization of the logistics industry, reflected in several regulatory acts. A comparative analysis of methodologies and approaches to IoT implementation used in different countries is conducted. Key benefits and barriers to implementing IoT in warehousing are identified.

Keywords: Internet of Things (IoT), warehouse logistics, optimization, warehouse management, RFID, sensors, automation, robots, AGV, AMR, digitalization, WMS, comparative analysis, regulatory framework

Ombor logistikasini optimallashtirish uchun buyumlar interneti (IoT) texnologiyalarini joriy etish: Milliy va xorijiy tajriba

N.Z. Arifjanova¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada ombor logistikasi jarayonlarini optimallashtirish uchun Buyumlar interneti (IoT) texnologiyalarini qo'llash masalalari ko'rib chiqilgan. Ombor operatsiyalarini nazorat qilish va boshqarishda RFID-nishonlar, sensorlar va avtomatlashtirilgan robotlashtirilgan tizimlar kabi IoT-qurilmalaridan foydalanish baholangan. Omborlarda IoT'ni joriy etish bo'yicha xorijiy muvaffaqiyatli misollar tahlil qilinib, samaradorlikning oshishi, aniqlikning yaxshilanishi va xarajatlarning kamayishi ko'rib chiqilgan. Bir qator normativ-huquqiy hujjatlarda aks ettirilgan iqtisodiyotni raqamlashtirish va logistika sohasini modernizatsiya qilish bo'yicha davlat strategiyalari kontekstida O'zbekiston ombor logistikasida IoT'ni joriy etishning hozirgi holati va istiqbollari ko'rib chiqiladi. Turli mamlakatlarda qo'llanilayotgan IoT'ni joriy etish metodikalari va yondashuvlarining qiyosiy tahlili o'tkazilgan. Ombor xo'jaligida IoT'ni joriy etish yo'lidagi asosiy afzalliklar va to'siqlar aniqlangan.

Kalit so'zlar: Buyumlar internet (IoT), ombor logistikasi, optimallashtirish, omborni boshqarish, RFID, sensorlar, avtomatlashtirish, robotlar, AGV, AMR, raqamlashtirish, WMS, qiyosiy tahlil, normativ-huquqiy baza

1. Kirish

Zamonaviy ombor logistikasi operatsiyalarning tezligi, aniqligi va samaradorligiga qo'yiladigan doimiy o'sib boruvchi talablarga duch kelmoqda. Globallashuv va elektron tijoratning rivojlanishi sharoitida omborlar ta'minot zanjirlarining murakkab tugunlariga aylanib, tovar oqimlarini boshqarish uchun ilg'or texnologik yechimlarni talab qilmoqda. Buyumlar interneti (IoT) texnologiyalari ombor jarayonlarini transformatsiya qilish uchun inqilobiy imkoniyatlarni taqdim etib, real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, muntazam vazifalarni avtomatlashtirish va resurslarni intellektual boshqarishni ta'minlaydi [1]. IoT jismoniy ob'ektlarni (stellajlar, tovarlar, uskunalar, xodimlar) datchiklar, ijro mexanizmlari va ma'lumotlarni tahlil qilish platformalari tarmog'i orqali raqamli tizimlar bilan birlashtirib, "aqlli omborlar" deb ataladigan tizimlarni yaratadi [2]. Ombor logistikasida IoT'ni joriy etishning dolzarbligi uning operatsion samaradorlikni sezilarli darajada oshirish salohiyati bilan bog'liq: operatsiyalarni bajarish vaqtini qisqartirish, xatoliklarni minimallashtirish,

ombor maydonlari va texnikasidan foydalanishni optimallashtirish, mehnat sharoitlari va xavfsizlikni yaxshilash [3]. O'z transport-logistika infratuzilmasini faol rivojlantirayotgan va mintaqaviy xabga aylanishga intilayotgan O'zbekiston uchun ombor xo'jaligida IoT-texnologiyalarini o'zlashtirish va joriy etish strategik muhim vazifadir. Bu "Raqamli O'zbekiston – 2030" Strategiyasida [4] belgilangan va "O'zbekiston — 2030" Strategiyasida [5] tasdiqlangan iqtisodiyotni raqamli transformatsiya qilish maqsadlariga, shuningdek, transport-logistika tizimini modernizatsiya qilish chora-tadbirlariga [6] mos keladi. Ushbu tadqiqotning maqsadi ombor operatsiyalarini nazorat qilish va boshqarish tizimlarida IoT-qurilmalaridan foydalanishni baholash, O'zbekistonda va xorijda muvaffaqiyatli keyslarni tahlil qilish, shuningdek, turli mamlakatlarda ombor logistikasida IoT'ni joriy etish tajribasini qiyosiy tahlil qilishdan iborat.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot ochiq manbalardan olingan ma'lumotlarni tizimli tahlil qilish va umumlashtirishga asoslangan. Ombor logistikasida IoT'ni qo'llashga bag'ishlangan rus va ingliz tillaridagi ilmiy nashrlarning kontent-tahlil metodi qo'llanildi. Tarmoq tahliliy agentliklarining hisobotlari, xalqaro konferensiyalar materiallari va kompaniyalarning keys-stadilari tahlil qilindi. O'zbekiston Respublikasining iqtisodiyotni raqamlashtirish [4, 5], transport-logistika tizimini rivojlantirish [6], temir yo'l transportini isloh qilish [7] va bojxona ma'muriyatchiligi [8]ga oid asosiy normativ-huquqiy hujjatlar va strategik hujjatlar o'rganildi. Texnologik rivojlanish darajasi, investitsion imkoniyatlar va logistik vazifalarning o'ziga xosligidagi farqlarni hisobga olgan holda, omborlarda IoT'ni qo'llash bo'yicha xorijiy va potentsial milliy tajribaning qiyosiy tahlili o'tkazildi.

3. Natija va muhokamlar

IoT texnologiyalari ombor siklining barcha bosqichlarida qo'llanilmoqda. Asosiy elementlar quyidagilardir:

- **RFID (Radio-Frequency Identification) – Radiochastotali identifikatsiya** – jarayonlarni tezlashtiruvchi va xaziralar hisobining aniqligini oshiruvchi tovarlar, palletlar, konteynerlarni avtomatik identifikatsiya qilish va kuzatish uchun nishonlar va o'quvchi qurilmalar [9].

- **Sensorlar va datchiklar** – saqlash sharoitlari (harorat, namlik va h.k.) va uskunalarining holatini monitoring qilish [2].

- **Taqiladigan qurilmalar (Wearables)** – xodimlarga vazifalarni bajarishda yordam beruvchi "aqli" ko'zoynaklar, qo'lqoplardagi skanerlar, bilaguzuklar [10].

- **Avtomatlashtirilgan va robotlashtirilgan tizimlar (AGV/AMR)** – IoT-ekotizimiga integratsiyalashgan avtonom mobil robotlar (AMR) va avtomatlashtirilgan boshqariladigan aravachalar (AGV) ombor bo'ylab tovarlarni tashish, marshrutlarni optimallashtirish va qo'l mehnatiga bo'lgan ehtiyojni kamaytirish uchun tobora ko'proq qo'llanilmoqda [11] va ombor jarayonlarini avtomatlashtirishning muhim yo'nalishi hisoblanadi.

- **WMS (Warehouse Management System – Omborlarni Boshqarish Tizimi) bilan integratsiya** – IoT-qurilmalar WMS'ga tahlil qilish, vizualizatsiya qilish va boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun uzatiladigan ma'lumotlarni generatsiya qiladi [12, 13].

Ko'plab jahon riteyl va logistika yetakchilari (Amazon, DHL, Zara va boshqalar) buyurtmalarni qayta ishlash tezligini, inventarizatsiya aniqligini oshirish va operatsion xarajatlarni kamaytirish uchun o'z omborlarida AGV/AMR, RFID va boshqa texnologiyalardan foydalangan holda IoT va robotlashtirishni faol joriy etmoqdalar [10, 11].

O'zbekiston ombor logistikasida ilg'or IoT-yechimlarini joriy etish boshlang'ich bosqichda. Xorijiy tajriba bilan taqqoslaganda, 1-jadvalda ko'rsatilgan ma'lum o'ziga xosliklar mavjud. Biroq, mamlakat strategik hujjatlarda [4, 5] mustahkamlangan raqamlashtirishga yaqqol intilishni namoyish etmoqda. Transport infratuzilmasini modernizatsiya qilish [6, 7] va bojxona tartib-taomillarini soddalashtirish [8] bo'yicha qadamlar tashlanmoqda, bu esa logistika rivojlanishi uchun qulay muhit yaratadi. IoT uchun asos bo'lgan omborlarni boshqarish tizimlariga (WMS) [12] qiziqish ortib bormoqda. Yirik kompaniyalar RFID va avtomatlashtirish bo'yicha pilot loyihalarni boshlamogda [14]. Shunga qaramay, IoT'ning keng tarqalishiga hozircha yuqori boshlang'ich qiymat, integratsiya zarurati, malakali mutaxassislarning yetishmasligi va kiberxavfsizlik masalalari to'sqinlik qilmoqda [15].

1-jadval

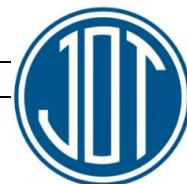
Ombor logistikasida IoT'ni joriy etishning qiyosiy tahlili

Taqqoslash mezonlari	Xorijiy tajriba (rivojlangan mamlakatlar)	O'zbekiston tajribasi/Potentsiali
Joriy etish darajasi	Yuqori, yetuk bozor, keng tarqalgan	Boshlang'ich bosqich, alohida pilot loyihalar, ortib borayotgan qiziqish
Foydalaniladigan texnologiyalar	Kompleks: RFID, sensorlar, robotlar (AGV/AMR), wearables, AI, Big Data	WMS asos sifatida, RFID, sensorlar (tanlab); robotlardan cheklangan foydalanish; ayrim texnologiyalarga nisbatan me'yoriy cheklavlar
Joriy etishga yondashuv	Kompleks, tizimli, ERP/SCM bilan to'liq integratsiya	Bosqichma-bosqich, aniq muammolarni hal etishga e'tibor (hisobning aniqligi, sharoitlarni nazorat qilish), pilot loyihalar
Asosiy drayverlar	Yuqori raqobat, E-commerce o'sishi, maksimal samaradorlikka ehtiyoj, xarajatlarni kamaytirish	Davlat strategiyalari, logistikani modernizatsiya qilish, raqobat, samaradorlikka ehtiyoj
Asosiy to'siqlar	Qiymat, integratsiya murakkabligi, standartlashtirish, kiberxavfsizlik	Yuqori boshlang'ich qiymat, kadrlar yetishmasligi, integratsiya, me'yoriy to'siqlar, kiberxavfsizlik
Davlatning roli	Standartlarni ishlab chiqish, ba'zan R&Dni qo'llab-quvvatlash, kiberxavfsizlikni ta'minlash	Raqamlashtirishni strategik qo'llab-quvvatlash, transport va bojxonada islohotlar, sharoitlar yaratish

Ushbu qiyosiy tahlil mahalliy o'ziga xosliklarni, jumladan iqtisodiy imkoniyatlar va me'yoriy muhitni hisobga olgan holda IoT'ni joriy etish yondashuvlarini moslashtirish zarurligini ko'rsatadi [16].

Tadqiqot natijalari IoT texnologiyalari va robotlashtirishning ombor logistikasini takomillashtirish uchun katta salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Xalqaro

tajriba erishish mumkin bo'lgan foydalarni yaqqol namoyish etadi. IoT-qurilmalar tomonidan yig'iladigan ma'lumotlar proaktiv boshqaruvga o'tish imkonini beradi. Biroq, joriy etish murakkabliklar bilan bog'liq: yuqori qiymat, integratsiya muammolari, standartlashtirish va kiberxavfsizlikni ta'minlash zarurati. O'zbekiston kontekstida, boshlang'ich bosqichda bo'lishiga qaramay,



istiqbollar umid baxsh etadi. Raqamlashtirishni davlat tomonidan qo'llab-quvvatlanishi va turdosh sohalaridagi kompleks islohotlar rivojlanish uchun poydevor yaratadi. Biznes tomonidan zamonaviy texnologiyalarning afzalliklarini tushunishning ortib borishi ham ijobiy omil hisoblanadi. WMS, RFID, sensorlar va imkoniyat darajasida robotlashtirilgan tizimlarni (AGV/AMR) bosqichma-bosqich joriy etish samarali strategiya bo'lishi mumkin. Kadrlarni tayyorlash asosiy ahamiyatga ega.

4. Xulosa

Buyumlar interneti texnologiyalari, shu jumladan robotlashtirilgan tizimlar, ombor logistikasini optimallashtirish uchun kuchli vositalarni taqdim etadi. Xalqaro tajriba ularning yuqori samaradorligini tasdiqlaydi. O'zbekistonda raqamlashtirish va logistikani modernizatsiya qilish sohasidagi maqsadli davlat siyosati tufayli ombor xo'jaligida IoT'ni o'zlashtirish uchun sharoitlar shakllanmoqda. Boshlang'ich bosqich va mavjud to'siqlarga (qiymat, kadrlar, me'yoriy jihatlar) qaramay, WMS, RFID, sensor tarmoqlari va robotlashtirilgan tizimlarni (AGV/AMR) bosqichma-bosqich joriy etish uchun sezilarli salohiyat mavjud. Muvaffaqiyatning asosiy omillari nafaqat investitsiyalar, balki infratuzilmani rivojlantirish, normativ bazani takomillashtirish, kiberxavfsizlik masalalarini hal etish va malakali kadrlarni tayyorlashdir. Strategik jihatdan puxta o'ylangan IoT'ni joriy etish O'zbekiston ombor logistikasiga o'z raqobatbardoshligini oshirish, xarajatlarni kamaytirish va mamlakat iqtisodiy rivojlanishiga hissa qo'shish imkonini beradi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Беляев А. А. Интеграция интернета вещей (IoT) в автоматизированные системы управления предприятием: возможности и вызовы // Научные исследования студентов и учащихся: сборник статей XI. – 2024. – с. 42.
- [2] Hasan M. K. et al. IoT-Based Warehouse Management System // 2022 International Conference on Cyber Resilience (ICCR). – IEEE, 2022. – с. 1-6.
- [3] Абрамов В. И., Файзуллина А. М. Интернет вещей в логистике: характеристики, преимущества, практики развития // Вестник Московского университета имени СЮ Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2024. – № 3 (50). – с. 98-105.
- [4] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. «Raqamli O'zbekiston – 2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son Farmoni // O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: <https://lex.uz/ru/docs/5031048>.
- [5] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. «O'zbekiston — 2030» strategiyasi to'g'risida: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi PF-158-son Farmoni // O'zbekiston Respublikasi Qonun

hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: <https://lex.uz/ru/docs/6600404>.

[6] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. Transport logistikasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 9-sentabrdagi PQ-28-son Qarori // O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: <https://lex.uz/ru/docs/7342176>.

[7] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. O'zbekiston Respublikasi temir yo'l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 10-oktabrdagi PQ-329-son Qarori // O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: <https://lex.uz/ru/docs/6631604>.

[8] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. Bojxona ma'muriyatchiligini isloh etish va O'zbekiston Respublikasi davlat bojxona xizmati organlari faoliyatini takomillashtirish to'g'risida: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 iyundagi PF-6005-son Farmoni // O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi. URL: <https://lex.uz/docs/4844619>.

[9] Saygin C. Adaptive inventory management using RFID data // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2007. – J. 32. – B. 1045-1051.

[10] Аркабаев Н. К., Орозбаева А. С., Наралиев Т. А. Оптимизация складского учета с использованием технологий интернета вещей и платформы. NET // Вестник Омского государственного университета. – 2024. – №. 4. – с. 150-163.

[11] Fragapane G. et al. Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda // European journal of operational research. – 2021. – T. 294. – №. 2. – с. 405-426.

[12] Арифджанова Н. З. Цифровые технологии в организации транспортно-логистических процессов // Universum: технические науки. – 2022. – №. 12-3 (105). – с. 26-28.

[13] Кизим А. А. Эффективность складской логистики на основе WMS-систем // Экономика устойчивого развития. – 2013. – №. 13. – с. 134-142.

[14] Хамзаев Д. И. Алгоритм программного комплекса для маркировки и пропусков готовой продукции (в примере АО "Farg'onaazot") // Universum: технические науки. – 2024. – T. 2. – №. 5 (122). – с. 10-13.

[15] Маркеева А. В. Интернет вещей (IoT): возможности и угрозы для современных организаций // Общество: социология, психология, педагогика. – 2016. – №. 2. – с. 42-46.

[16] Арифджанова Н. З. Актуальные направления развития транспортно-логистической системы в Республике Узбекистан // Экономика и социум. – 2022. – №. 3-2 (94). – с. 427-432.

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

Arifjanova Toshkent davlat transport
Nafisa universiteti "Transport logistikasi"
Zaxidovna / kafedra dotsent v.b.
Nafisa E-mail: arifdjanovan8@gmail.com
Arifjanova Tel.: +998935513364



Restoration of the thermophysical properties of antifreezes via a regeneration method based on regression analysis

D.A. Ayrapetov¹^a, R.M. Khakimov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This paper presents an assessment of the efficiency of coolant regeneration based on the analysis of their thermophysical properties. Experimental studies were carried out on three antifreeze samples: fresh, used, and regenerated. Based on the obtained temperature data, heating and cooling curves were constructed, and a comparative analysis of heat capacity and heat transfer time was performed. Regression modeling methods were applied for quantitative evaluation, allowing the derivation of approximating relationships between temperature and time. The results show that the regenerated antifreeze exhibits temperature characteristics that are nearly comparable to those of the fresh sample, while the used antifreeze demonstrates degraded heat transfer performance. The obtained findings confirm the effectiveness of the proposed regeneration method and the feasibility of restoring the operational properties of cooling liquids.

Keywords: antifreeze, regeneration, coolants, thermophysical properties, heat capacity, heat transfer, regression modeling, temperature behavior, ethylene glycol

Regressiya tahliliga asoslangan regeneratsiya usuli yordamida antifrizlarning issiqlik-fizik xususiyatlarini tiklash

Ayrapetov D.A.¹^a, Xakimov R.M.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur ishda sovituvchi suyuqliklarning issiqlik-fizik xususiyatlarini tahlil qilish asosida ularni regeneratsiya qilish samaradorligi baholangan. Tadqiqot doirasida uch xil antifriz namunasi — yangi, ishlatilgan va regeneratsiya qilingan namunalar ustida eksperimental izlanishlar olib borildi. Olingan harorat ma'lumotlari asosida qizish va sovish egri chiziqlari qurildi hamda issiqlik sig'imi va issiqlik uzatish vaqti bo'yicha taqqoslama tahlil amalga oshirildi. Miqdoriy baholash uchun regressiya modellashtirish usullaridan foydalanilib, haroratning vaqtga bog'liqligini ifodalovchi approksimatsion tenglamalar olindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, regeneratsiya qilingan antifriz o'zining harorat xususiyatlari bo'yicha deyarli yangi namunadan kam emas, ishlatilgan antifriz esa issiqlik uzatish ko'rsatkichlarining yomonlashgani bilan tavsiflanadi. Olingan natijalar taklif etilgan regeneratsiya usulining samaradorligini hamda sovituvchi suyuqliklarning ekspluatatsion xususiyatlarini tiklash imkoniyatini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: antifriz, regeneratsiya, sovituvchi suyuqliklar, issiqlik-fizik xususiyatlar, issiqlik sig'imi, issiqlik uzatish, regressiya tahlili, harorat xususiyatlari, etilenglikol

1. Kirish

Avtomobil transporti jadal rivojlanib borayotgan sharoitda ichki yonuv dvigatellarining sovitish tizimlarining ishonchli ishlashini ta'minlash alohida ahamiyat kasb etadi. Ushbu tizimlarning samaradorligi ko'p jihatdan qo'llaniladigan sovituvchi suyuqliklar, xususan antifrizlar sifatiga bog'liq bo'lib, ular nafaqat issiqlikni chiqarib yuborish, balki tizim elementlarini korroziya va cho'kmalardan himoya qilish vazifasini ham bajaradi [1, 2].

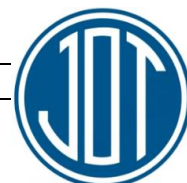
Ekspluatatsiya jarayonida antifrizlar yuqori haroratlar, oksidlanish jarayonlari va turli ifloslanishlar ta'sirida bo'lib, bu ularning fizik-kimyoviy hamda issiqlik-fizik xususiyatlarining yomonlashishiga olib keladi. Avvalo, bu issiqlik sig'imining kamayishi va issiqlik uzatish

barqarorligining buzilishida namoyon bo'ladi, natijada dvigatelning qizib ketish xavfi ortadi va uning xizmat muddati qisqaradi [3]. Shu sababli, faqatgina ishlatilgan sovituvchi suyuqliklarni almashtirishga asoslangan an'anaviy yondashuv har doim ham iqtisodiy va ekologik jihatdan maqsadga muvofiq emas.

Mazkur muammoning dolzarbligi yana shundan iboratki, etilenglikol asosidagi antifrizlar zaharli moddalarga kiradi va ularni noto'g'ri utilitatsiya qilish atrof-muhit, jumladan tuproq va suv resurslarining ifloslanishiga olib keladi [4]. Hozirgi vaqtda ishlatilgan suyuqliklarning ekspluatatsion xususiyatlarini tiklash va ularni qayta foydalanishga yo'naltirilgan resurs tejovchi texnologiyalarni ishlab chiqishga katta e'tibor qaratilmoqda [5].

^a <https://orcid.org/0000-0001-6724-4307>

^b <https://orcid.org/0000-0001-6987-7212>



Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, antifrizlarni tozalash va regeneratsiya qilishga bag'ishlangan ayrim ishlar mavjud bo'lishiga qaramay, ularning issiqlik-fizik xususiyatlarini tiklash hamda bunday jarayonlarning samaradorligini miqdoriy baholash masalalari yetarlicha o'rganilmagan. Xususan, qizish va sovish jarayonlarida harorat o'zgarishlarining dinamikasini tahlil qilishda matematik usullardan foydalanish qo'shimcha asoslashni talab etadi [6,7].

Shu munosabat bilan, mazkur ishning maqsadi antifrizlarni regeneratsiya qilish samaradorligini ularning harorat xususiyatlarini tahlil qilish asosida, regressiya modellashirish usullaridan foydalangan holda baholashdan iborat. Bunda ishlatilgan, regeneratsiya qilingan va yangi antifriz namunalari issiqlik-fizik xulq-atvori o'zaro taqqoslab o'rganiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Oldingi tadqiqotlarda uch turdagi antifriz — yangi, ishlatilgan va regeneratsiya qilingan namunalari issiqlik-fizik xususiyatlari o'rganilgan [10]. Eksperimental natijalar jadval ko'rinishida taqdim etilib, har bir namuna uchun qizish va sovish jarayonlarining harorat egri chiziqlari qurilgan. Ushbu ma'lumotlar asosida issiqlik uzatish vaqti hisoblab chiqilgan va issiqlik sig'imi bo'yicha taqqoslama tahlil o'tkazilgan. Aniqlanishicha, issiqlik sig'imi yuqori bo'lgan suyuqliklarda qizish jarayoni uzoqroq davom etadi va sovish sekinroq kechadi.

1-jadval

Antifrizlarning qizish haroratlari (tuzatilgan variant)

№	Tajriba vaqti	Ishlatilgan antifriz, °C	Regeneratsiya qilingan antifriz, °C	Yangi zavod antifrizi, °C
1	00:00:00	31.0	31.0	30.1
2	00:03:45	40.6	40.7	44.8
3	00:07:30	57.5	57.2	60.4
4	00:11:15	71.8	70.6	73.5
5	00:15:00	83.5	81.9	83.2
6	00:18:45	92.0	88.4	88.6
7	00:22:30	99.7	92.8	94.6
8	00:26:15	101.7	97.0	99.4
9	00:30:00	99.8	98.7	98.2
10	00:33:45	96.3	94.9	92.5

11	00:37:30	92.4	88.9	87.8
12	00:41:15	87.8	85.3	83.1
13	00:45:00	84.4	80.3	77.7
14	00:48:45	81.1	75.0	74.5
15	00:52:30	77.5	71.9	70.4
16	00:56:15	74.3	68.6	66.4
17	01:00:00	71.6	65.4	64.1
18	01:03:45	69.4	62.3	62.2
19	01:07:30	66.8	60.0	59.1
20	01:11:15	64.5	57.7	57.9
21	01:15:00	62.4	55.9	55.8
22	01:18:45	60.7	54.5	54.0
23	01:22:30	58.8	52.5	52.5
24	01:26:15	57.2	51.2	50.8
25	01:30:00	55.7	49.4	49.1
26	01:33:45	54.2	48.2	47.8
27	01:37:30	52.4	47.1	46.9
28	01:41:15	51.3	46.1	45.7
29	01:45:00	49.8	45.0	44.5
30	01:48:45	49.1	43.9	43.9
31	01:54:50	47.4	42.6	42.5

2-jadval

Tadqiq etilgan sovutuvchi suyuqliklarning o'rtacha harorat qiymatlarini taqqoslama tahlili

Taqqoslanayotgan suyuqliklar	Harorat farqi, °C	Og'ish, %	Izoh
------------------------------	-------------------	-----------	------



Ishlatilgan va regeneratsiya qilingan	+4,61	+7,08	Ishlatilgan antifriz ko'proq qiziydi
Ishlatilgan va yangi	+4,45	+6,83	Ishlatilgan antifrizning issiqlik uzatish qobiliyati past
Regeneratsiya qilingan va yangi	-0,15	-0,23	Deyarli mos keladi

Jadvaldan ko'rinadiki, regeneratsiya qilingan va yangi antifrizlarning o'rtacha haroratlari o'rtasidagi farq 0,3 % dan kam bo'lib, bu sovituvchi suyuqlikning issiqlik-fizik xususiyatlari regeneratsiyadan so'ng tiklanganligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, ishlatilgan antifriz yuqoriroq ishchi haroratlar bilan tavsiflanadi, bu esa ifloslanish va qo'shimchalarning degradatsiyasi natijasida uning issiqlikni olib chiqish qobiliyati yomonlashganini bildiradi.

Olingan eksperimental ma'lumotlar asosida tadqiq etilgan antifrizlarning termodinamik xususiyatlari matematik tahlil qilindi. Ma'lumotlarga ishlov berishda regressiya modellashtirish usullaridan foydalanilib, har bir namuna uchun haroratning qizish va sovish vaqtiga bog'liqligini ifodalovchi approksimatsion tenglamalar olindi. Hisoblashlar Microsoft Excel 2021 va OriginPro 2023 dasturiy paketlari yordamida amalga oshirildi. Ushbu bog'liqliklar asosida harorat o'zgarishlarining dinamikasini ifodalovchi grafik modellar qurildi. Mazkur grafiklar jarayonni nafaqat vizual ko'rsatish, balki ishlatilgan, regeneratsiya qilingan va yangi antifrizlar o'rtasidagi farqlarni miqdoriy baholash imkonini beradi.

Approksimatsiya funksiyasi sifatida uchinchi tartibli polinomial regressiya tanlandi, chunki aynan shu model eksperimental va hisobiy ma'lumotlar o'rtasida eng yaxshi moslikni ta'minladi. Olingan bog'liqliklar asosida harorat o'zgarishining dinamikasini ifodalovchi grafik modellar (3-rasm) qurildi. Ushbu grafiklar jarayonni vizual ifodalash bilan birga, ishlatilgan, regeneratsiya qilingan va yangi antifrizlar o'rtasidagi farqlarni miqdoriy jihatdan baholash imkonini beradi.

Olingan modellar quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi:

$$T(\tau) = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + a_3\tau^3$$

bu yerda: $T(\tau)$ – suyuqlik harorati, °C;

τ – qizish/sovish vaqti, s;

a – har bir namuna uchun aniqlangan regressiya koeffitsiyentlari.

Regressiya tenglamasi koeffitsiyentlari quyidagi o'lchov birliklariga ega:

a_0 – harorat, °C;

a_1 – °C/c;

a_2 – °C/c²;

a_3 – °C/c³.

Harorat T (°C) ning vaqt τ (sekund) ga bog'liqligi uchun quyidagi tenglamalar olindi:

1 — Ishlatilgan antifriz:

$$T(\tau) = 36.95 + 0.0624\tau - 2.03 \cdot 10^{-5}\tau^2 + 1.70 \cdot 10^{-9}\tau^3,$$

$R^2 = 0.895$

Determinatsiya koeffitsiyenti: $R^2 = 0.895$

2 - Regeneratsiya qilingan antifriz:

$$T(\tau) = 37.12 + 0.0599\tau - 2.02 \cdot 10^{-5}\tau^2 + 1.72 \cdot 10^{-9}\tau^3, R^2 = 0.90$$

2

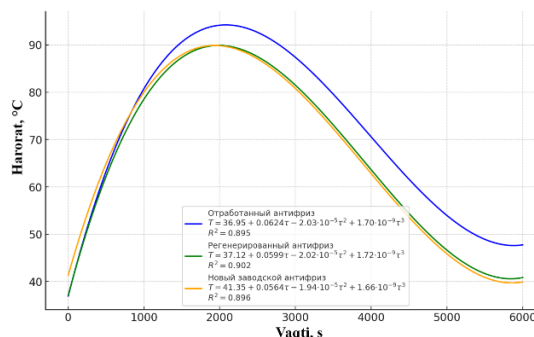
Determinatsiya koeffitsiyenti: $R^2 = 0.902$

3 - Yangi zavod antifrizi:

$$T(\tau) = 41.35 + 0.0564\tau - 1.94 \cdot 10^{-5}\tau^2 + 1.66 \cdot 10^{-9}\tau^3, R^2 = 0.89$$

6

Determinatsiya koeffitsiyenti: $R^2 = 0.896$



1-rasm. Tadqiq etilgan antifrizlarning harorat xususiyatlari bo'yicha regressiya modellari

O'tkazilgan matematik tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, tadqiq etilgan barcha namunalar — ishlatilgan, regeneratsiya qilingan va yangi antifrizlar — uchinchi tartibli polinomial modellar yordamida yetarli darajada aniq tavsiflanadi. Bunda determinatsiya koeffitsiyentlari 0,895 dan 0,902 gacha bo'lgan oraliqda joylashgan bo'lib, bu tanlangan approksimatsiya usulining yuqori ishonchligini tasdiqlaydi.

3. Xulosa

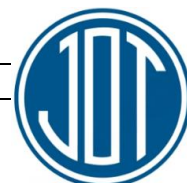
Olingan harorat egri chiziqlarini taqqoslash shuni ko'rsatdiki, ishlatilgan antifriz sovish jarayonida yanada kuchliroq nolinearlik bilan tavsiflanadi. Bunday xulq-atvor uning issiqlik sig'iminin kamayganligini va natijada issiqlikni samarali olib chiqish qobiliyati yomonlashganligini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, regeneratsiya qilingan antifrizning harorat o'zgarishlari deyarli yangi antifriz ko'rsatkichlariga mos keladi. Egri chiziq shakli, shuningdek qizish va sovish tezliklari o'rtasidagi farqlar juda kichik bo'lib, hisoblangan koeffitsiyentlar ham o'zaro yaqin qiymatlarga ega.

Olingan natijalar qo'llanilgan regeneratsiya usulining yuqori samaradorligini ko'rsatadi hamda sovituvchi suyuqliklarning issiqlik-fizik xususiyatlarini yangi antifriz darajasiga yaqin holda tiklash imkonini tasdiqlaydi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Кузнецов В.В., Иванов А.С. Исследование эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей // Химия и технология топлив и масел. – 2015. – №4. – С. 32–36.
- [2] Петров Д.А., Смирнов И.В. Влияние качества охлаждающих жидкостей на тепловой режим двигателей внутреннего сгорания // Вестник машиностроения. – 2018. – №7. – С. 45–49.
- [3] Сидоров А.П., Климов Н.Н. Анализ теплофизических свойств антифризов в процессе



эксплуатации // Известия вузов. Машиностроение. – 2019. – №10. – С. 58–63.

[4] Морозов С.В., Ефимов П.А. Экологические аспекты утилизации и регенерации охлаждающих жидкостей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2020. – №2. – С. 25–30.

[5] Фёдоров В.И., Николаев Д.С. Влияние отходов этиленгликоля на окружающую среду и методы их переработки // Экология и промышленность России. – 2017. – №6. – С. 40–44.

[6] Алексеев Р.В., Громов К.Н. Применение методов математического моделирования при анализе теплообмена жидкостей // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – №9. – С. 112–117.

[7] ГОСТ 28084-89. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Технические условия.

[8] Hakimov, R., & Ayrapetov, D. (2024). Regeneration of spent low-freezing liquids. AIP Conference Proceedings, 3045, 030064. <https://doi.org/10.1063/5.0197857>

[9] Айрапетов Д.А., Хакимов Р.М., Алимухамедов Ш.П. Усовершенствованный метод очистки и повторного использования отработанных охлаждающих жидкостей // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2025. 9(138).

[10] Айрапетов Д.А., Хакимов Р.М. Экспериментальная оценка теплофизических свойств

антифризов на основе температурных зависимостей // Development of science Ilmiy jurnal 2026/4 VOLUME 6 369- 377 (ISSN 3030 -3907) <https://www.devos.uz/article.php?id=4741>.

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

Ayrapetov Dmitriy Alekseyevich / Dmitriy Ayrapetov	Toshkent Davlat transport universiteti "Transport energetik qurilmalari" kafedrası assistenti E-mail: ayrapetov92@mail.ru Tel.: +998934557112 https://orcid.org/0000-0001-6724-4307
--	---

Xakimov Rovshan Muminovich / Rovshan Khakimov	Toshkent davlat transport universiteti texnika fanlari nomzodi, professor "Avtomobilsozlik va ishlab chiqarish muhandisligi" kafedrası E-mail: hakimov-ravshan@mail.ru Tel.: +998974413660 https://orcid.org/0000-0001-6987-7212
---	--



Dynamic analysis of three-layer pendulum-type fluoroplastic seismic insulated buildings

Kh.L. Alimov¹^a, A.Sh. Martazaev¹^b, F.I. Azizova¹, M.G. Umarov¹

¹Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

Abstract:

This article studies the dynamic properties of reinforced concrete buildings with three-layer pendulum-type fluoroplastic seismic isolators. As part of the study, a 6-story frame building model was modeled in the ETABS program, and a comparative analysis was performed for the cases of single-base and seismic isolation. The real Santa Monica accelerogram was used as the seismic load. According to the modeling results, when isolation was used, the first-order vibration period of the building increased from 0.63 s to 1.20 s. It was found that the shear forces in the foundation decreased from 17564 kN to 4328 kN in the X direction (approximately 75%), and significantly decreased in the Y direction. It was also observed that inter-storey displacements decreased, and the main deformations were concentrated at the foundation level. Acceleration values also decreased significantly, confirming the increase in the dynamic stability of the building structure. The results obtained show that three-layer pendulum-type seismic isolators are highly effective in effectively absorbing earthquake energy and increasing the seismic safety of buildings. This article analyzes the theoretical load-bearing capacity of fiber-reinforced concrete beams by dispersing reinforcement with 40 mm long glass fibers into the concrete composition. Theoretical calculations have shown that the maximum load-bearing capacity of the beam increases significantly when the fiber content is in the range of 0.1÷0.5%. The highest efficiency was observed in fiber-reinforced concrete beams with 0.2% glass fibers. The results obtained are consistent with the existing scientific literature and theoretically confirm the effectiveness of dispersed reinforcement. This work serves to increase structural efficiency, determine the optimal fiber content, and analyze the load-bearing properties of fiber-reinforced concrete beams with glass fibers. By comparing theoretical results with experimental tests, the effectiveness of future research can be increased.

Keywords:

fluoroplastic, seismic action, dynamic analysis, shear force, acceleration, interlayer displacement, vibration period

Uch qatlamli mayatnik turidagi ftoroplastik seysmik izolyatsiyali binolarning dinamik tahlili

Alimov X.L.¹^a, Martazayev A.Sh.¹^b, Azizova F.I.¹, Umarov M.G.¹

¹Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O'zbekiston

Annotatsiya:

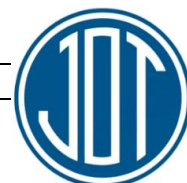
Ushbu maqolada uch qatlamli mayatnik turidagi ftoroplastik seysmik izolyatorlar qo'llanilgan temir-beton binolarning dinamik xususiyatlari o'rganildi. Tadqiqot doirasida 6 qavatli karkasli bino modeli ETABS dasturida modellashtrilib, birk asosli va seysmik izolyatsiyalangan holatlar uchun qiyosiy tahlil amalga oshirildi. Seysmik yuklama sifatida real Santa Monica akselerogrammasi qo'llanildi. Modellashtrish natijalariga ko'ra, izolyatsiya qo'llanilganda binoning birinchi tartibli tebranish davri 0.63 s dan 1.20 s gacha oshdi. Asosdagi qirquvchi kuchlar X yo'nalishida 17564 kN dan 4328 kN gacha (taxminan 75%), Y yo'nalishida esa sezilarli darajada kamaygani aniqlandi. Shuningdek, qavatlararo siljishlar kamayib, asosiy deformatsiyalar poydevor sathida jamlanganligi kuzatildi. Tezlanish qiymatlari ham sezilarli darajada pasayib, bino konstruksiyasining dinamik barqarorligi oshgani tasdiqlandi. Olingan natijalar uch qatlamli mayatnik tipidagi seysmik izolyatorlarning zilzila energiyasini samarali so'ndirish va binoning seysmik xavfsizligini oshirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Ushbu maqolada uzunligi 40 mm bo'lgan shisha tolalarni bilan beton tarkibiga dispers armaturalash orqali fibrotemirbeton to'sinlarning nazariy yuk ko'tarish qobiliyati tahlil qilindi. Nazariy hisob ishlari shuni ko'rsatdiki, tolalar miqdori 0.1÷0.5% oralig'ida bo'lganda to'sinning maksimal yuk ko'tarish qobiliyati sezilarli darajada oshadi. Eng yuqori samaradorlik 0.2% shisha tolali fibrotemirbeton to'sinlarda kuzatildi. Olingan natijalar mavjud ilmiy adabiyotlar bilan mos kelib, dispers armaturalashning samaradorligini nazariy jihatdan tasdiqlaydi. Ushbu ish konstruktiv samaradorlikni oshirish, optimal tolalar miqdorini aniqlash va shisha tolali fibrobeton to'sinlarning yuk ko'tarish xususiyatlarini tahlil qilishga xizmat qiladi. Nazariy natijalarni eksperimental sinovlar bilan taqqoslash orqali kelgusidagi tadqiqotlar samaradorligini oshirish mumkin.

Kalit so'zlar:

ftoroplast, seysmik ta'sir, dinamik tahlil, qirquvchi kuch, tezlanish, qavatlararo ko'chish, tebranish davri

^a <https://orcid.org/0009-0007-3943-7671>

^b <https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>



1. Kirish

So'nggi yillarda seysmik faol hududlarda joylashgan binolarning zilzilabardoshligini oshirish dolzarb ilmiy-amaliy muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Kuchli seysmik ta'sirlar natijasida yuzaga keladigan dinamik yuklamalar bino konstruksiyalarida katta siljishlar, ortiqcha ichki kuchlar va hatto konstruktiv buzilishlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli zamonaviy qurilish amaliyotida an'anaviy "Bikrligni oshirish orqali qarshilik ko'rsatish" yondashuvidan voz kechib, energiyani so'ndirish tamoyiliga asoslangan seysmik himoya tizimlariga o'tish tendensiyasi kuchaymoqda [1].

Seysmik izolyatsiya tizimlari bino va poydevor orasida elastik yoki ishqalanishli qatlam hosil qilib, zilzila energiyasining yuqori qismga uzatilishini kamaytiradi. Natijada konstruksiyaning asosiy tebranish davri uzayadi, rezonans xavfi pasayadi va inersiya kuchlari sezilarli darajada kamayadi. Bu esa bino elementlarining ekspluatatsion holatini saqlab qolishga xizmat qiladi. Hozirgi kunda turli turdagi seysmik izolyatorlar, jumladan elastomer tayanchlar, qo'rg'oshin rezinali podshipniklar va ishqalanishli mayatnik tizimlari keng qo'llanilmoqda. Xususan, ishqalanishli mayatnik tipidagi izolyatorlar o'zining energiya so'ndirish qobiliyati va qayta markazlashuv xususiyati bilan alohida ahamiyat kasb etadi. Bu yo'nalishda James M. Kelly [2] tomonidan elastomer asosidagi izolyatsiya tizimlari, Roberto Villaverde [3] tomonidan esa izolyatsiyalangan binolarning dinamik javobi chuqur o'rganilgan. Shuningdek, Anil K. Chopra [4] binolar dinamikasi va seysmik hisoblash usullarini rivojlantirishga katta hissa qo'shgan.

So'nggi yillarda uch qatlamli mayatnik tipidagi ftoroplastik seysmik izolyatorlar (Triple Friction Pendulum System) murakkab seysmik sharoitlarda yuqori samaradorlik ko'rsatishi bilan ilmiy tadqiqotlarning diqqat markaziga aylangan [5]. Ushbu tizimlar turli intensivlikdagi zilzilalarda o'z ish rejimini o'zgartirib, energiyani bosqichma-bosqich so'ndirish imkoniyatiga ega [6].

Shu nuqtai nazardan, mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi uch qatlamli mayatnik turidagi ftoroplastik seysmik izolyatorlar qo'llanilgan temir-beton binolarning dinamik xatti-harakatini modellashirish va ularning seysmik samaradorligini bikr asosli model bilan qiyosiy tahlil qilishdan iboratdir [7]. Tadqiqot jarayonida ETABS dasturidan foydalanilib, real seysmik akselerogramma asosida vaqt bo'yicha dinamik tahlil amalga oshirildi. Olingan natijalar seysmik izolyatsiya tizimlarining binoning asosiy dinamik parametrlariga, jumladan tebranish davri, qirquvchi kuchlar, tezlanishlar va qavatlararo siljishlarga sezilarli ijobiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot doirasida 6 qavatli temir-beton karkasli turarjoy binosining fazoviy hisobiy modeli ishlab chiqildi. Modelni yaratish va uning dinamik xususiyatlarini tahlil qilish ishlari zamonaviy muhandislik hisoblashlariga mo'ljallangan ETABS dasturiy majmuasida amalga oshirildi. Loyihalash jarayonida bino 9 balli seysmik hudud sharoitlariga (MSK-64 shkalasi bo'yicha) mos ravishda qabul qilinib, amaldagi me'yoriy talablar asosida konstruktiv yechimlar shakllantirildi. Binoning yuk ko'taruvchi konstruksiyasi temir-beton karkas sifatida qabul qilinib, u ustunlar, to'sinlar va qavatlararo plitalardan iborat

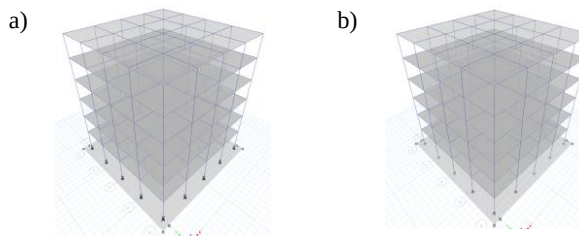
fazoviy rama ko'rinishida modellashirildi. Ustunlar va to'sinlar chiziqli elastik xususiyatlariga ega elementlar sifatida qabul qilindi, qavatlararo plitalar esa gorizontaal yuklarni taqsimlashni ta'minlovchi bikr diafragma (rigid diaphragm) sifatida hisobga olindi. Konstruksiyada B25 sinfli beton va AIII sinfli armatura qo'llanildi, bu esa bino mustahkamligi va ekspluatatsion ishonchligini ta'minlashga xizmat qildi.

Seysmik himoya tizimi sifatida bino poydevori darajasida uch qatlamli mayatnik turidagi ftoroplastik ishqalanishli seysmik izolyatorlar o'rnatildi. Ushbu izolyatorlar nolinear xususiyatlariga ega bo'lgan bog'lovchi (link) elementlar sifatida modellashirilib, zilzila vaqtda energiyani so'ndirish hamda bino va poydevor orasida nazorat qilinadigan nisbiy siljishni ta'minlash vazifasini bajaradi. Tadqiqotda seysmik yuklama sifatida real Santa Monica zilzilasi akselerogrammasi qo'llanildi. Ushbu seysmik hodisa yuqori intensivlikka ega bo'lib, MSK-64 shkalasi bo'yicha IX ballga teng deb baholangan. Dinamik tahlil vaqt bo'yicha o'zgaruvchi yuklama (time-history analysis) usulida bajarildi, bu esa binoni real seysmik ta'sir ostida baholash imkonini berdi.

Hisoblash jarayonida modal tahlil orqali binoning xususiy tebranish shakllari va davrlari aniqlandi, shuningdek, nolinear vaqt bo'yicha dinamik tahlil asosiy natijaviy bosqich sifatida amalga oshirildi. Energiya so'nishi Rayleigh damping modeli orqali hisobga olindi, umumiy so'nish nisbati 5% etib qabul qilindi. Vaqt integratsiyasi Newmark usuli asosida bajarildi.

Tadqiqot ikki xil konstruktiv holatda amalga oshirildi: birinchisi - bikr asosli (fixed base) model, ikkinchisi - seysmik izolyatsiya qo'llanilgan model. Har ikkala holatda ham binoning dinamik javobi, jumladan qirquvchi kuchlar, siljishlar, tezlanishlar va tebranish davrlari solishtirma tahlil asosida baholandi.

Seysmik izolyatsiya qo'llanilgan hamda izolyatsiya qo'llanilmagan binolarning hisobiy modellarning umumiy ko'rinishi 1-rasmda keltirilgan.

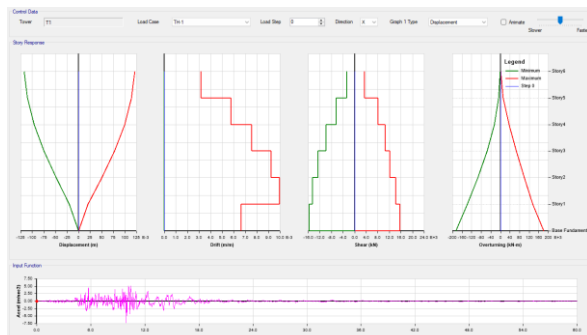


1-rasm. Binoning hisobiy modellarning umumiy ko'rinishi: (a) seysmik izolyatsiya qo'llanilgan model; (b) izolyatsiya qo'llanilmagan (bikr mahkamlangan) model.

3. Natija va muhokamalar

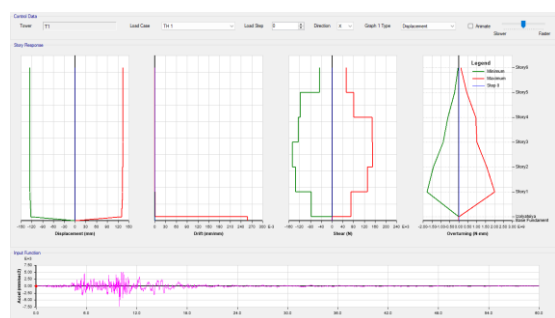
O'tkazilgan modal tahlil natijalariga ko'ra, seysmik izolyatsiya qo'llanilishi binoning dinamik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatdi. Bikr asosli modelda birinchi tartibli xususiy tebranish davri 0.63 s ni tashkil etgan bo'lsa, seysmik izolyatsiya qo'llanilgan holatda ushbu qiymat 1.20 s gacha oshdi. Bu holat tebranish davrining deyarli 90% ga uzayganini ko'rsatadi. Tebranish davrining ortishi binoning past chastotali tizimga aylanishiga olib keladi, natijada

zilzila spektri bilan rezonans ehtimoli kamayadi va inersiya kuchlari sezilarli darajada pasayadi. Bu esa seysmik izolyatsiya tizimining asosiy funksional samaradorligini tasdiqlaydi. Santa Monica akselerogrammasi ta'sirida biki mahkamlangan (2-rasm) va seysmik himoya qilingan (3-rasm) binolar uchun ko'chish, qavatlararo nisbiy siljish (drift), qirquvchi kuch va ag'daruvchi momentning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari tahlil qilindi.



2-rasm. Santa Monica akselerogrammasi ta'sirida biki mahkamlangan bino uchun ko'chish, qavatlararo nisbiy siljish (drift), qirquvchi kuch va ag'daruvchi momentning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari ko'rinishi

Biki asosli va izolyatsiyalangan modellar o'rtasida qirquvchi kuchlar sezilarli farq bilan o'zgarishi aniqlandi. X yo'nalishi bo'yicha biki asosli modelda asosdagi maksimal qirquvchi kuch 17564 kN ni tashkil etgan bo'lsa, izolyatsiya qo'llanilgandan so'ng bu qiymat 4328 kN gacha kamaydi, ya'ni taxminan 75% pasayish kuzatildi. Y yo'nalishi bo'yicha esa qirquvchi kuch 29691 kN dan 13469 kN gacha kamaydi, bu esa 50% dan ortiq pasayishni anglatadi. Ushbu natijalar seysmik izolyatsiya tizimi zilzila energiyasining katta qismini poydevor sathida so'ndirishini ko'rsatadi.



3-rasm. Santa Monica akselerogrammasi ta'sirida seysmik izolyatsiya qo'llanilgan bino uchun ko'chish, qavatlararo nisbiy siljish (drift), qirquvchi kuch va ag'daruvchi momentning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari ko'rinishi

Qavatlararo siljishlar tahlili shuni ko'rsatdiki, biki asosli modelda siljishlar bino balandligi bo'ylab ortib boradi va eng yuqori qiymat yuqori qavatlarida kuzatiladi. Maksimal siljish 121.13 mm ga yetgan. Seysmik izolyatsiya qo'llanilgan modelda esa siljishlar qavatlar bo'yicha deyarli bir xil taqsimlangan bo'lib, asosiy deformatsiya izolyatsiya qatlamida jamlangan. Bu holat bino karkasining nisbatan "biki jism" sifatida harakatlanishini ta'minlaydi va uski konstruksiyalarda ortiqcha deformatsiyalarni kamaytiradi.

Dinamik tahlil natijalari seysmik izolyatsiya qo'llanilishi binoning tezlanish javobini sezilarli darajada

kamaytirishini ko'rsatdi. X yo'nalishda biki asosli modelda maksimal tezlanish $+22.40 \text{ m/s}^2$, minimal esa -12.55 m/s^2 ni tashkil etgan bo'lsa, izolyatsiyalangan modelda bu ko'rsatkichlar mos ravishda $+7.27 \text{ m/s}^2$ va -5.26 m/s^2 gacha kamaydi. Y yo'nalishda esa maksimal tezlanish $+29.48 \text{ m/s}^2$ dan $+17.66 \text{ m/s}^2$ gacha, minimal qiymat esa -37.40 m/s^2 dan -14.76 m/s^2 gacha pasaydi. Bu natijalar inersiya kuchlarining sezilarli kamayishini va konstruksiya ichki zo'riqlashlarining pasayishini tasdiqlaydi.

4. Xulosa

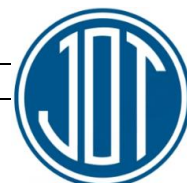
1. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, uch qatlamli mayatnik turidagi ftoroplastik seysmik izolyatorlar bino dinamik reaksiyasini sezilarli darajada yaxshilaydi. Tebranish davrining uzayishi, qirquvchi kuchlarning kamayishi hamda tezlanishlarning pasayishi seysmik energiyaning asosiy qismining poydevor darajasida so'ndirilishini tasdiqlaydi.

2. Natijalar James M. Kelly va Anil K. Chopra tomonidan ilgari surilgan seysmik izolyatsiya nazariyalari bilan mos keladi. Xususan, energiyani ajratish va tebranish davrini uzaytirish orqali konstruktiv xavfsizlikni oshirish konsepsiyasi ushbu tadqiqot natijalari bilan tasdiqlandi.

3. Uch qatlamli mayatnik tizimining afzalligi shundaki, u turli intensivlikdagi zilzilalarda bosqichma-bosqich ishlash xususiyatiga ega bo'lib, bu uning chiziqli dinamik sharoitlarda ham samaradorligini saqlab qolishini ta'minlaydi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Alimov, Khorisboy, Zakiryo Buzrukov, and Mirzohid Turgunpulatov. "Dynamic characteristics of pilot boards of structures." In E3S Web of Conferences, vol. 264, p. 02053. EDP Sciences, 2021.
- [2] Kelly J.M. Earthquake-resistant design with rubber. – London: Springer, 1997. – 240 p.
- [3] Villaverde R. Fundamental concepts of earthquake engineering. – Boca Raton: CRC Press, 2009. – 500 p.
- [4] Chopra A.K. Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering. – 4th ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2012. – 876 p.
- [5] Alimov, K., Z. Buzrukov, and M. Turgunpulatov. "Dynamic characteristics of pilot boards of structures." In E3S Web of Conferences. 2021.
- [6] Cattaneo S., Rossi G. Experimental and numerical investigation on the friction behavior of sliding isolators // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 250. – Article 118855.
- [7] Furinghetti M., Pavese A., Constantinou M.C. Advanced modeling of friction pendulum isolators considering the heating effects during seismic events // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. – 2021. – Vol. 50, No. 12. – P. 3205–3225.



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

Alimov Xorisboy /
Khorisboy Alimov

Namangan davlat texnika universiteti "Bino va inshootlar qurilishi kafedrası" professori, t.f.n.

E-mail:
xorisboyalimov@gmail.com
Tel.: +99897-829-75-55
<https://orcid.org/0009-0007-3943-7671>

Martazayev Abdurasul /
Abdurasul Martazaev

Namangan davlat texnika universiteti "Bino va inshootlar qurilishi kafedrası" dotsenti, t.f.f.d.

E-mail:

abdurasul.mas@gmail.com

Tel.: +99893-914-05-06

<https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>

Azizova Feruza /
Azizova Feruza

Namangan davlat texnika universiteti, "Bino va inshootlar qurilishi" kafedrası magistranti

E-mail:
azizovaferuza701@gmail.com

Umarov Muhammadjon /
Umarov Muhammadjon

Namangan davlat texnika universiteti, "Bino va inshootlar qurilishi" kafedrası talabasi



Hydraulic structures, hydraulic shock, aerated flow, internal volume, lower slope aerated flow in the Rezaksay reservoir

O.G. Chulponov¹^a, A.B. Bakhodirov¹^b

¹Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

Abstract:

This article theoretically studies the occurrence of cavitation in water discharge pipes during hydraulic shock, the mechanisms of its development, and the physical processes associated with the transition of the flow to an aerated state. According to the results of the study, significant excessive hydrodynamic loads appear in pipes, valves, and other hydraulic structures under the influence of hydraulic shock, which leads to rapid failure of structural elements. It is also shown that cavitation and aeration processes have a significant impact on the internal structure of the flow, causing the formation of gas bubbles in the water flow, sharp fluctuations in pressure, and a complication of energy exchange processes. Based on the results obtained, the laws of distribution of the aerated flow over the internal volume under hydraulic shock conditions are expressed using mathematical models and their physical content is analyzed. During the experimental and theoretical analyses, the physical and mechanical properties of the flow, the time variation of pressure pulses, and the processes of energy dissipation were determined, and their impact on the stability of hydraulic structures was assessed. The results show that changes in the flow structure under hydraulic shock conditions increase abrasive erosion processes in structural elements, which significantly reduces their service life. The scientific results obtained in the article serve as an important theoretical basis for correctly determining safety margins in the design of hydraulic structures, reducing accidents during operation, and increasing energy efficiency.

Keywords:

hydraulic structures, hydraulic shock, aerated flow, internal volume, lower slope. Aerated flow in the Rezaksay reservoir

Gidrotexnika inshootlarida gidravlik zarba tufayli aeratsiyali oqimning ichki xajmi bo'yicha tarqalishining nazariy yechimlari

Chulponov O.G.¹, Baxodirov A.B.¹

¹Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada gidravlik zarba jarayonida suv chiqarish quvurlarida kavitatsiya hodisasining yuzaga kelishi, uning rivojlanish mexanizmlari hamda oqimning aeratsiyalangan holatga o'tishi bilan bog'liq fizik jarayonlar nazariy jihatdan o'rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, gidravlik zarba ta'sirida quvurlarda, klapanlarda va boshqa gidrotexnika inshootlarida sezilarli darajada ortiqcha gidrodinamik yuklanishlar paydo bo'lib, bu esa konstruktiv elementlarning tez ishdan chiqishi aniqlangan. Shuningdek, kavitatsiya va aeratsiya jarayonlari oqimning ichki tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatib, suv oqimida gaz pufakchalari hosil bo'lishi, bosimning keskin tebranishi hamda energiya almashinuvi jarayonlarining murakkablashishiga sabab bo'lishi ko'rsatilgan. Olingan natijalar asosida gidravlik zarba sharoitida aeratsiyalangan oqimning ichki hajmi bo'yicha tarqalish qonuniylari matematik modellar yordamida ifodalangan va ularning fizik mazmuni tahlil qilingan. Tajriba va nazariy tahlillar davomida oqimning fizik-mexanik xususiyatlari, bosim impulslarining vaqt bo'yicha o'zgarishi hamda energiya so'nish jarayonlari aniqlanib, ularning gidrotexnika inshootlari barqarorligiga ta'siri baholangan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, gidravlik zarba sharoitida oqim strukturasining o'zgarishi inshoot elementlarida abraziv yemirilish jarayonlarini kuchaytiradi va bu holat ularning xizmat muddatini sezilarli darajada qisqartiradi. Maqolada olingan ilmiy natijalar gidrotexnika inshootlarini loyihalashda xavfsizlik zaxiralarini to'g'ri belgilash, ekspluatatsiya jarayonida avariya holatlarini kamaytirish hamda energiya samaradorligini oshirish uchun muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar:

gidrotexnika inshootlari, gidravlik zarba, aeratsiyali oqim, ichki hajmi, pastki nishblik. Rezaksoy suv omborida aeratsiyali oqim

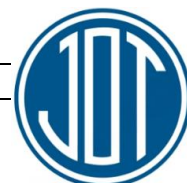
1. Kirish

Jahonning ilg'or mamlakatlarida so'nggi yillarda gidravlikaga xos bo'lmagan jarayonlarni tadqiq qilish va

aeratsiyaga ega quvurlardagi oqimlarining barqaror holatini shakllantirishda matematik modellash jarayonlariga katta e'tibor berilmoqda, ayniqsa, bu jarayonlar Rossiya, Xitoy, AQSH, Yaponiya kabi ilg'or davlatlarda intensiv

^a <https://orcid.org/0000-0002-3676-901X>

^b <https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>



rivojlanib kelinmoqda. Ma'lumki, gidravlik zarba tufayli oqimdagi aeratsiyaning shakllanish mexanizmi statsonar bo'lmagan buzilishlarning paydo bo'lishiga olib kelishi bilan birgalikda, suv omborlarida yuqori yuklanishlarning yuzaga kelishi orqali deformatsiyaning paydo bo'lishiga olib keladi. Natijada suv chiqarish quvurlarini ishlamay qolishi, quvurlarning yaxlitligi va ishonchligining yo'qolishi kabi gidravlikaga xos bo'lmagan jarayonlar yuzaga kelishini e'tiborga olish dolzarb vazifalardan hisoblanadi. Zamonaviy gidrotexnika inshootlarini loyihalash va ulardan samarali foydalanish jarayonida oqimlarning murakkab xatti-harakatlarini chuqur o'rganish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, gidravlik zarba hodisasi suv uzatish tizimlarida tez-tez uchrab, quvurlar, kanallar va boshqa inshoot elementlarida sezilarli dinamik yuklama beradi. Bunday sharoitda oqimning aeratsiyanishi, ya'ni suv tarkibiga havo aralashishi jarayoni oqim parametrlarini sezilarli darajada o'zgartiradi. Aeratsiyali oqimlar oddiy bir fazali oqimlarga nisbatan ancha murakkab bo'lib, ularning ichki tuzilishi, zichligi, bosim taqsimoti va energiya yo'qotishlari o'ziga xos xususiyatlarga ega. Gidravlik zarba paytida esa bu jarayon yanada murakkablashadi, chunki bosimning keskin o'zgarishi oqim ichidagi havo pufakchalari harakati va taqsimlanishiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Shu sababli, aeratsiyali oqimning ichki hajm bo'yicha taqsimlanishini nazariy jihatdan o'rganish nafaqat ilmiy, balki amaliy ahamiyatga ham ega. Bu orqali gidrotexnika inshootlarida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan avariya holatlarning oldini olish, konstruktiv yechimlarni takomillashtirish va tizimlarning ishonchligini oshirish mumkin. Olingan nazariy natijalar asosida aeratsiyali oqimning ichki hajmiy strukturasi prognoz qilish imkonini beruvchi matematik model taklif etiladi. Ushbu model yordamida gidrotexnika inshootlarida bosimning xavfli oshib ketish holatlarini oldindan aniqlash, kavitatsiya va zarba ta'sirlarini kamaytirish bo'yicha muhim tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, aeratsiyalangan oqim gidravlik zarba energiyasini qisman yutish xususiyatiga ega bo'lib, bu holat inshootlarning mustahkamligi va uzoq muddatli ishlashiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Shu bilan birga, aeratsiya darajasining ortishi oqim parametrlarining barqarorligiga turlicha ta'sir ko'rsatishi mumkinligi aniqlangan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

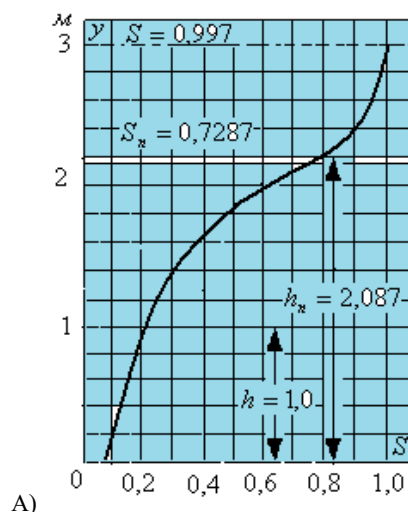
Ushbu tadqiqotda gidrotexnika inshootlarida gidravlik zarba tufayli aeratsiyali oqimning o'zgarishi bosqichma-bosqich o'rganilgan. Birinchi navbada, gidrotexnika inshootlarida gidravlik zarba tufayli oqim suv va havodan iborat aralashma sifatida qaraldi hamda uning asosiy ko'rsatkichlari — tezlik, bosim va havo miqdori aniqlab olindi. Keyingi bosqichda aynan gidravlik zarba tufayli, ya'ni bosimning keskin o'zgarishi va uning oqimga ta'siri nazariy jihatdan aniqlangan. Shu bois oqim ichidagi havoning taqsimlanishi matematik tenglamalar orqali ifodalandi.

Tadqiqotlar asosida suv ombori to'g'oning suv chiqarish joyidagi quvur uzunligi bo'ylab tarqaladigan vibratsiya to'linining hosil bo'lish jarayonlarini aniqlangan.

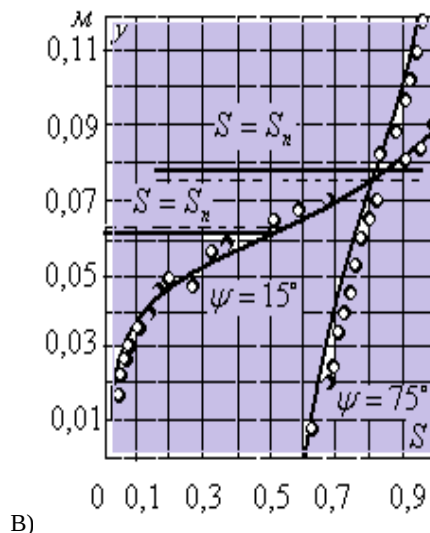
Bosimli quvurlarda quvurning ichidagi bosim, quvur uzunligi, quvur diametri va mahalliy qarshiliklarni

bog'lovchi Bernulli tenglamasi asosida vibratsiyali kavitatsiya vaqtida paydo bo'ladigan shiddatli bosimni aniqlash ifodasi ishlab chiqilgan. Suv omborining ishlash rejimiga bog'liq holda suv chiqarish traktlarida vujudga keladigan kavitatsiya jarayonlarini boshlanish chegaralarini aniqlash mezonini ishlab chiqilgan.

Bundan ko'rinadiki tadqiqotlar jarayonida suv omborlaridagi suv chiqarish quvurlarida havosiz bo'shliqning (vakuum) paydo bo'lishi tufayli yuzaga keladigan gidravlik zarbalar, tufayli kavitatsiya yuzaga kelish, suv chiqarish quvurining deformatsiyaning oqibatida hisoblashning nazariy uslublaridan, matematik modellashirish hamda "ANSYS" workbench zamonaviy dasturiy ta'minoti asosida chekli elementlar hisoblash usullaridan foydalanib, suv ombori suv o'tkazish quvuridagi kuchlanganlik-deformatsiya holatlari aniqlashdan iborat.



1-rasm. Mahalliy konsentratsiyaning oqim chuqurligi bo'yicha o'zgarish grafi



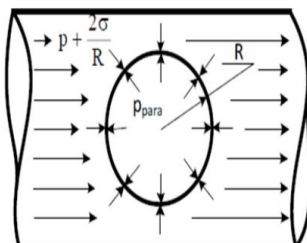
2-rasm. Gidrotexnika inshootlarining oqim chuqurligi bo'yicha mahalliy havo konsentratsiyasi tarqalishining eksperimentlar qiymatlarini solishtirish:

bu yerda,

— nazariy sirt sathi;

00000 - tajribadan olingan sirt sathi.

Gidrotexnik inshootlarda gidravlik zarba tufayli suv chiqarish quvurlarda bo'ladigan tebranishlar kuchli bo'lib, bunda kavitatsiya jarayonlar tez fursatda ro'y beradi. Ushbu sinovlarni bajarish Namangan viloyati joylashgan rezaksoy suv omborida olib boriladi.



3-rasm. Statik muvozanatda bug'li pufakcha sirtiga ta'sir etuvchi kuchlar. Bu yerda $R_0 \approx 10^{-9}$ ga teng bo'ladi.

3. Natija va muhokamalar

Gidravlik zarba tufayli suv ombordagi pastki nishabligning kengligi $b=8.0$ m bo'lgan Rezaksoy suv omborida aeratsiyali oqimning chuqurligi bo'yicha konsentratsiya taqsimotini aniqlangan.

$$i = \sin \psi = \sin 40^\circ = 0,643 \quad (1)$$

O'rganilayotgan bo'limdagi o'rtacha tezlik $\vartheta = 40 \frac{m}{c}$, aeratsiyasiz chuqurlik $h = 1,0m$, ekvivalent pastki g'adirbudurlik $\Delta_s \approx 0,003m$. Suv harorati $15^\circ S$

$$\bar{\delta}_R = \frac{3,3R}{Re_{*R}} + \Delta_s = \frac{3,3 \cdot 0,8}{1,576 \cdot 10^6} + 0,003 = 0,0030016$$

tanlash orqali biz $\xi = 0,187$ ni aniqlaymiz va $\bar{h} = 0,187 \cdot 5,45 = 1,019m \approx 1m$ ni hisoblaymiz.

Shunday qilib, $\bar{h} \approx h$, shuning uchun $\bar{\Pi} = \Pi$, ya'ni $\bar{\Pi}$ kompleksi tomonidan h chuqurlikda hisoblanadi va Frud soni quyidagi formula orqali yoziladi:

$$\bar{Fr}_{R,\psi} = \frac{\bar{\vartheta}^2}{g\bar{R} \cos \psi} = \frac{40^2}{9,81 \cdot 0,8 \cdot \cos 40^\circ} = 266,1$$

$$\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{c} \quad (2)$$

Chuqurlik bo'yicha konsentratsiya taqsimoti (1) va (2) formulalar bilan aniqlanadi. Bu formulalarga kiritilgan qiymatlar (1-jadval) o'lchamsiz murakkab $\bar{\Pi}$ -kompleks (2) formulaga bog'liq. O'lchovsiz kompleksning ta'rifi (2).

$$\bar{\Pi} = \left(\frac{\bar{R}}{\bar{h}}\right)^{1,2} \left(\frac{\bar{\delta}_R}{\bar{R}}\right)^{0,25} \bar{Fr}_{R,\psi} \quad (3)$$

Bu yerda:

$$\bar{Fr}_{R,\psi} = \frac{\bar{\vartheta}^2}{g\bar{R} \cos \psi}, \bar{\delta}_R = \frac{3,3\bar{R}}{Re_{*R}} + \Delta_s \quad (4)$$

$$\bar{h} = \xi h_{kp}, h_{kp} = \sqrt[3]{\frac{q^3}{g}}$$

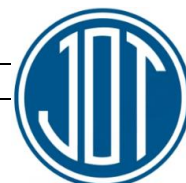
ξ koeffitsienti (2) formuladan hisoblanadi:

$$\begin{aligned} 6,45 \left(1 + 2 \frac{h}{b}\right)^{-1} \frac{h^3}{\delta_R^{0,125} h_{kp}^{2,875}} \\ = \xi^{1,375} \left(1 + 2 \frac{h_{kp}}{b} \xi\right)^{-0,975} 6,45 \left(1 + 2 \frac{1}{8}\right)^{-1} \frac{1^3}{0,0030016^{0,125} \cdot 5,45^{2,875}} \\ = \xi^{1,375} \left(1 + 2 \frac{5,45}{8} \xi\right)^{-0,975} \\ 0,0814 = \xi^{1,375} (1 + 1,3625\xi)^{-0,975} \end{aligned}$$

1-jadval

Gidravlik zarba tufayli suv chiqarish quvurining aeratsion asosiy ko'rsatgichlari.

Kuchsiz va o'rtacha aeratsiyalangan oqim	Sezilarli darajada aeratsiyalangan oqim	
	$71 \leq \bar{\Pi} \leq 280$	$\bar{\Pi} > 280$
$lg \bar{S} = 0,6 lg \bar{\Pi} - 1,33$		
$\bar{S}_n = \bar{S}^2$		
$k = 390 \bar{\Pi}^{-1,332}$	$\bar{S} = 0,295 \bar{\Pi}^{0,167}$	$lg \bar{S} = 0,5 lg \bar{\Pi} - 0,250$
$\bar{\Pi} \leq 32da$	$\bar{S}_n = 0,0922 \bar{\Pi}^{0,333}$	$lg \bar{S}_n = 0,10 lg \bar{\Pi} - 0,460$
$\bar{S}_n = 0,5, R/\bar{R}_n \approx 1$	$k = 10,35 \bar{\Pi}^{-0,5}$	$k = 4,03 \bar{\Pi}^{-0,333}$
$h/\bar{h}_n \approx 1;$ $h/h_n \approx 1;$	$\bar{S}_n = 1$ $-1,62 \bar{\Pi}^{-0,333}$	$S_n = 1$ $-1,01 \bar{\Pi}^{-0,25}$
$\sigma \approx 0,0087 \bar{h} \bar{\Pi}$	$lg R/\bar{R}_n = 0,2 lg \bar{\Pi} - 0,295$	$tg R/\bar{R}_n = 0,10 tg \bar{\Pi} - 0,050$
$32 < \bar{\Pi} < 71da$	$lg \sigma/\bar{h} = 0,45 lg \bar{\Pi} - 1,2$	$lg \sigma/\bar{h} = 0,30 lg \bar{\Pi} - 0,833$
$\bar{S}_n = 1$ $-1,62 \bar{\Pi}^{-0,333}$		
$tg R/\bar{R}_n = 0,2 lg \bar{\Pi} - 0,295$		
$lg \sigma/\bar{h} = 0,45 lg \bar{\Pi} - 1,2$		



$$\bar{R}_n = \frac{b\bar{h}_n}{b+2\bar{h}_n} h_n = \frac{\bar{h}_n}{1-\bar{S}_n}$$

2-jadval

Chuqurlik bo'yicha konsentratsiya taqsimoti egri
chizig'ini qurish

y,m	0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
S	0,08 89	0,12 0	0,14 7	0,18 0	0,24 3	0,40 3	0,66

3-jadval

Chuqurlik bo'yicha konsentratsiya taqsimoti egri
chizig'ini qurish

y,m	y*	t = $\frac{y^*}{\sigma}$	F(t)	$\frac{1-S}{2(1-S_{II})}$	S
2,2	0,113 1	0,30 7	0,1215	0,3785	0,794 7
2,5	0,413 1	1,12 2	0,368 5	0,1315	0,929 0
2,7	0,613 1	1,66 6	0,4520	0,0480	0,973 0
3,0	0,913 1	2,48 1	0,4935	0,0065	0,997 0

Ushbu jadvallardan foydalanilgan holatda masalani yechish shartlari berilgan. Bunda o'tish sirtidan yuqorida, ya'ni $y < h_{II}$ joylashgan mahalliy (suv-havo aralashmasi) konsentratsiyani (2) formula orqali hisoblanadi.

O'tish sirtidan yuqorida, ya'ni $y < h_{II}$ joylashgan mahalliy (suv-havo aralashmasi) konsentratsiyaning (2) formula, ya'ni:

$\frac{1-S}{2(1-S_{II})S_{a,n}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{y^*}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}(\frac{y^*}{\sigma})^2} dy^*$ orqali hisoblangan qiymatlari 3- jadvalda keltirilgan. Quyidagi formulalar orqali suvchiqarish quvurining gidravlik zarba tufayli qanday kavitatsion jarayonlar bo'lishini aniqlanadi.

$$\frac{1-S}{2(1-S_{II})S_{a,n}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\int_0^{\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt - \int_0^t e^{-\frac{1}{2}t^2} dt \right); \frac{1-S}{2(1-S_{II})} = 0,5 - F(t);$$

4. Xulosa

1. Mamlakatimiz hududidagi barcha suv omborlaridagi idravlik zarbaga qarshi ishlab chiqilgan algoritim va uning asosida qurilgan model yuqori bosimli suv tashlash va suv chiqarish quvurlaridagi oqim dinamikasi va bostirilgan oqim xarakatidagi energiya sarfini hisoblash usullari Rezaksoy suv omboriga qo'llashishi mumkin.

2. Natijada suv tashlash quvuri bosh qismi konstruksiyasi optimal parametrlari takomillashtirildi. Quvur bosh qismidagi oqim tezligi topilib, pulsatsiyalanuvchi oqimning pulsatsiyasini tashkil etuvchi tezliklarini topish, quvurning tekis bo'lmagan qismidagi

bosim kattaligini ifodalovchi parametrlar topilib, ogolovkaning optimal chuqurligi, geometriyasi kattaliklari olindi.

3. Ishlab chiqilgan algoritim va uning asosida qurilgan model yuqori bosimli suv tashlash va suv chiqarish quvurlaridagi oqim dinamikasi va bostirilgan oqim xarakatidagi energiya sarfini hisoblash usullari Rezaksoy suv omboriga qo'llashishi mumkin.

4. Bosimli quvurlardagi gidrodinamik bosim, quvur uzunligi, quvur diametri va mahalliy qarshiliklarni bog'lovchi Bernulli tenglamasi asosida vibratsiyali kavitatsiya vaqtida paydo bo'ladigan shiddatli bosimni aniqlash ifodasi keltirib chiqarildi.

5. Rezaksoy suv ombori suv chiqarish inshootidagi turbulent oqimining burilish qismidagi vibratsiyalarni baholash algoritmi tuzilib dasturi va grafiklari olindi.

6. Natijada suv o'tkazish quvurlarini ishonchli ekspluatatsiya qilish va ekspluatatsiya davrini 18% ga uzaytirishga erishish mumkinligi ko'rsatildi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Chulponov O.G., Khudaykulov S.I. Modeling air penetration through the free surface of the flow // Journal of Civil, Structural, Environmental, Water resources and Infrastructure Engineering Research (JCSEWIER) ISSN(Print): 2278-3539; ISSN(E): 2278-3547 Vol. 12, Issue 2, Dec 2022, 1–6 © TJPRC Pvt. Ltd.

[2] Chulponov O.G'. Suv omboridagi suv o'tkazgich quvurining kuchlanish va deformatsiya holatini tadqiq qilish // Bino va inshootlar zilzilabardoshligi sohasida kadrlar tayyorlashning istiqbollari / Respublika ilmiy-amaliy anjumani.TAQU, 2023 y 23-24 dekabr. 258-261 b.

[3] Яхшибоев Д.С., Худайкулов Б.С. Кавитационная безопасность гидросооружений // Из-во, ТИИМ-2013 г.

[4] Хамидов А.А., Худайкулов С.И. Теория струй многофазных вязких жидкостей // «Фан» Ташкент- 2003 г

[5] Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред. – М., // Наука, 1987 г. 464 с.

[6] О.А.Мунинов, С.И.Худайкулов Ш.Р.Утбосаров «Определение сопряжения поворота с прямоугольными участками русла каркидонского водохранилища» «Расчёт вибрации на участке поворота быстрого каркидонского водохранилища» Материалы Международной научной конференции «Актуальные задачи математики, механики и информатики», посвященной 80-летию профессора Т.Г. Мустафина Караганда, 2022 8-9 сентября 240-242

[7] Нишонов Ф.Х., Зокиров Ж.А. Моделирование гидравлических импульсов и гидравлического удара. Иктисодиёт тармоқларининг ривожланишини таъминловчи фан, таълим ҳамда модернизациялашган энергия ва ресурстежамкор технологиялар,техника воситалари муаммолари, ечимлар, истикболлар. Республика илмий-техник анжумани материаллари 2-кисм Жиззах -2016. 82-87 стр.



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

Cho'lponov Olimjon /
Olimjon Chulponov
Namangan davlat texnika universiteti "Bino va inshootlar qurilishi kafedrası"
t.f.fd., dotsentii
E-mail:
ochulponov1984@gmail.com
Tel.: +99897-254-87-84
<https://orcid.org/0000-0002-3676-901X>

Baxodirov Azizbek /
Azizbek Bakhodirov

Namangan davlat texnika universiteti, "Qurilish muhandisligi" kafedrası magistranti
E-mail:
azizxonboxodirov@gmail.com,
Tel.: +99894-275-05-57
<https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>



A mathematical model for determining the optimal parameters of coating application technology

R. Saydakhmedov¹^a, J. Berdimurodov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article proposes a multi-criteria mathematical model aimed at determining the optimal parameters of thermal barrier coating (TBC) application technology for high-pressure turbine blades of gas-turbine aircraft engines. The model is formulated for atmospheric plasma spraying (APS) and electron-beam physical vapor deposition (EB-PVD) methods on the basis of multi-criteria optimization of the objective function, Fourier's heat conduction equation, and the Lamé–Navier equations for thermal stresses. The experimental design was carried out using the Taguchi method with L9 and L16 orthogonal arrays. The coefficients of the regression equation were determined by the least squares method, and the adequacy of the model was verified using Fisher's criterion. Experimental results reported in foreign scientific literature were compared with calculations obtained using the proposed model, and optimal technological regimes were substantiated, leading to a 2–5-fold increase in blade service life, reduced fuel consumption, and improved engine efficiency.

Keywords: gas-turbine engine, turbine blade, EB-PVD, yttria-stabilized zirconia (YSZ), mathematical model, multi-criteria optimization

Qoplama qo'llash texnologiyasining optimal parametrlarini aniqlashning matematik modeli

Saydaxmedov R.¹^a, Berdimurodov J.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada gazturbinali aviatsiya dvigatellarining yuqori bosimli turbina kurakchalariga issiqlikdan himoya qiluvchi qoplama (TBC – Thermal Barrier Coating) qo'llash texnologiyasining optimal parametrlarini aniqlashga qaratilgan ko'pmazonli matematik model taklif etilgan. Model plazmali purkash (APS) va elektron nurli fizikaviy bug'lash (EB-PVD) usullari uchun maqsadli funksiyani ko'p mezonli optimallashtirish, Furie issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi va Lamé–Navye termik kuchlanish tenglamalari asosida shakllantirilgan. Tajribalarni rejalashtirish Taguchi usuli (L9 va L16 ortogonal massivlar) yordamida amalga oshirilgan, regressiya tenglamasi koeffitsientlari eng kichik kvadratlar usulida aniqlanib, modelning adekvatligi Fisher mezoni bo'yicha tekshirilgan. Chet el ilmiy adabiyotlaridagi tajriba natijalari taklif etilgan model bo'yicha hisob-kitoblar bilan taqqoslanib, kurakchalarning xizmat muddatini 2–5 barobarga oshirish, yonilg'i sarfini kamaytirish va dvigatel samaradorligini oshirishga olib keluvchi optimal texnologik rejimlar asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: gazturbinali dvigatel, turbina kurakchasi (loparka), EB-PVD, ittriy bilan stabillashgan zirkoniy oksidi (YSZ), matematik model, ko'pmazonli optimallashtirish

1. Kirish

Zamonaviy aviatsiya gazturbinali dvigatellarining (GTD) samaradorligi va o'ziga xos quvvati turbina oldidagi gazning haroratiga bevosita bog'liq. Termodinamikaning asosiy tamoyillariga ko'ra, turbina kirish qismidagi gaz haroratini har 100 °C ga oshirilishi dvigatel solishtirma tortish kuchini taxminan 8–13 % ga, samaradorligini esa 2–3 % ga ko'taradi. Hozirgi kunda zamonaviy aviatsion GTDlarning yuqori bosimli turbina kirishidagi gaz harorati 1500–1700 °C gacha yetadi, bu esa nikel asosidagi superqotishmalardan tayyorlangan kurakchalar materialining maksimal ishchi haroratidan (~1100 °C) ancha yuqori.

Bunday yuqori issiqlik yuklamasi sharoitida kurakchalarni himoya qilishning eng samarali usuli – ularga qatlamli issiqlikdan himoya qiluvchi qoplama (Thermal Barrier Coating, TBC) qo'llashdir. Tipik TBC tizimi uch qatlamlardan iborat: 1) nikel asosidagi superqotishma asos (substrat, masalan, INCONEL 718, ZhS-32, ZhS-26); 2) MCrAlY (M = Ni, Co) tipidagi adgeziv oraliq qatlam (bond coat) qalinligi 75–150 mkm; 3) ittriy bilan stabillashgan zirkoniy oksidi (YSZ, 6–8 % $Y_2O_3 + ZrO_2$) asosidagi keramik ustki qatlam qalinligi 150–350 mkm. Optimal tanlangan qoplama kurakchalarning ish haroratini 100–150 °C ga pasaytirib, ularning resurs muddatini 2–5 barobarga oshirishga imkon beradi [1, 4].

^a <https://orcid.org/0000-0002-3674-2423>

^b <https://orcid.org/0009-0008-1350-3818>



Qoplama xossalari va xizmat muddati ko'plab texnologik parametrlarga – plazma quvvati, purkash masofasi, kukunni uzatish tezligi, asos harorati, qatlam qalinligi va boshqalarga – murakkab nochiqliq bog'liqlikda bo'lib, ushbu parametrlarning optimal qiymatlarini eksperimental usul bilan to'liq tanlash juda qimmat va vaqt talab qiladi. Shu sababli, optimal parametrlarni asoslangan tarzda aniqlash uchun matematik model tuzish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotning maqsadi – gazturbinali aviatsiya dvigatellari turbina kurakchalariga issiqlikdan himoya qiluvchi qoplama qo'llash texnologiyasining optimal parametrlarini aniqlashga qaratilgan ko'pmezoni matematik modelni ishlab chiqish va uni APS hamda EB-PVD usullariga tatbiq etishdir.

Tadqiqotning vazifalari: 1) texnologik parametrlar va sifat ko'rsatkichlarini bog'lovchi maqsadli funktsiyani shakllantirish; 2) Fyure issiqlik o'tkazuvchanlik va Lame-Navye termik kuchlanish tenglamalarini chekli elementlar usuli (FEM) bilan birgalikda yechish algoritmini ishlab chiqish; 3) Taguchi usulida ortogonal massivlar (L9, L16) yordamida tajribalarni rejalashtirish va regressiya modelini qurish; 4) modelning adekvatligini Fisher mezoni bo'yicha baholash; 5) APS va EB-PVD usullari uchun optimal texnologik rejimlarni asoslab berish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi. Birinchi marta APS va EB-PVD usullari uchun yagona ko'pmezoni optimallashtirish doirasida adgeziv mustahkamlik, g'ovaklik, termik siklik chidamlilik va issiqlik izolyatsiyasi ko'rsatkichlarini bir vaqtda hisobga oluvchi maqsadli funktsiya shakllantirildi; Taguchi ortogonal massivlari va FEM hisob-kitoblari birlashtirilgan algoritim taklif etildi; modelning adekvatligi Fisher mezoni bo'yicha tasdiqlanib ($F_{\text{hisob}} > F_{\text{jadval}}$), olingan natijalar chet el adabiyotlari ma'lumotlari bilan 5–12 % gacha bo'lgan farq doirasida mosligi ko'rsatildi.

1. Masalaning matematik ifodalanishi

Qoplama qo'llash texnologiyasining optimal parametrlarini aniqlash – bu bir vaqtning o'zida bir necha o'zaro qarama-qarshi mezonlarni qondirishni talab qiluvchi ko'pmezoni optimallashtirish masalasidir [4]. Texnologik parametrlar vektorini quyidagicha belgilaymiz:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6), \quad (1)$$

bu yerda: x_1 – plazmotron quvvati, kVt; x_2 – purkash masofasi, mm; x_3 – kukun uzatish tezligi, g/min; x_4 – plazma hosil qiluvchi gaz (Ar) sarfi, l/min; x_5 – qoplama qatlami qalinligi, mkm; x_6 – asos (substrat) harorati, °C.

Maqsadli funktsiya sifatida qoplamaning sifati va resursini xarakterlovchi to'rtta asosiy mezon qabul qilinadi:

$Y_1(X)$ – adgeziv mustahkamlik, MPa (max);

$Y_2(X)$ – qoplamaning g'ovakligi, % (min);

$Y_3(X)$ – termik siklik chidamlilik, sikl soni (max);

$Y_4(X)$ – qoplama orqali harorat pasayishi (issiqlik izolyatsiyasi), °C (max).

Ko'pmezoni masalani skalyar shaklga keltirish uchun og'irlik koeffitsientlarining yig'indisi (weighted-sum) usulidan foydalaniladi [4]. Mezonlarning o'lchamliligini bartaraf etish maqsadida har bir $Y_i(X)$ ning normallashtirilgan qiymati $\hat{y}_i(X) \in [0; 1]$ oralig'ida quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\hat{y}_i(X) = (Y_i(X) - Y_{i,\min}) / (Y_{i,\max} - Y_{i,\min}) - \text{maksimallashtiriladigan mezonlar uchun}, \quad (2a)$$

$$\hat{y}_i(X) = (Y_{i,\max} - Y_i(X)) / (Y_{i,\max} - Y_{i,\min}) - \text{minimallashtiriladigan mezonlar uchun}, \quad (2b)$$

bu yerda $Y_{i,\min}$ va $Y_{i,\max}$ – i-mezonning tajriba qiymatlari oralig'idagi mos ravishda eng kichik va eng katta qiymatlari. Bu ko'rinishda Y_1 , Y_3 , Y_4 mezonlari (2a) bo'yicha, Y_2 mezoni esa (2b) bo'yicha normallashtiriladi.

Umumlashtirilgan maqsadli funktsiya quyidagi shaklda yoziladi:

$$F(X) = \sum_{i=1}^4 \omega_i \cdot \hat{y}_i(X) \rightarrow \max, \quad (3)$$

bu yerda ω_i – i-mezon uchun og'irlik koeffitsienti, ular quyidagi shartlarni qanoatlantirishi kerak:

$$\sum_{i=1}^4 \omega_i = 1, \quad \omega_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

Tadqiqotda ekspertlar bahosi va adabiyotlar tahlili asosida og'irlik koeffitsientlari quyidagicha qabul qilingan: $\omega_1 = 0,30$ (adgeziv mustahkamlik), $\omega_2 = 0,20$ (g'ovaklik), $\omega_3 = 0,30$ (termik siklik chidamlilik), $\omega_4 = 0,20$ (issiqlik izolyatsiyasi).

Optimallashtirish quyidagi cheklovlar bilan amalga oshiriladi:

$$x_{i,\min} \leq x_i \leq x_{i,\max}, \quad i = 1, 2, \dots, 6; \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{qoldiq}}(X) \leq [\sigma]; \quad T_{\text{asos}}(X) \leq T_{\text{ruxsat}}, \quad (6)$$

bu yerda σ_{qoldiq} – qoplamadagi qoldiq termik kuchlanishlar; $[\sigma]$ – ruxsat etilgan kuchlanish chegarasi; T_{asos} – ekspluatatsiya jarayonida asos materialining maksimal harorati; T_{ruxsat} – superqotishma uchun ruxsat etilgan harorat (1100 °C).

2. Issiqlik uzatish va termik kuchlanish tenglamalari

Qoplamali kurakcha ichida temperatura maydonini hisoblash uchun statsionar bo'lmagan issiqlik o'tkazuvchanlikning Fyure tenglamasidan foydalaniladi [3]:

$$\rho \cdot c \cdot (\partial T / \partial t) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla T) + q_v, \quad (7)$$

bu yerda ρ – material zichligi (kg/m³); c – solishtirma issiqlik sig'imi (J/(kg·K)); λ – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti (W/(m·K)); q_v – hajmiy issiqlik manbai (W/m³). YSZ qoplama uchun $\lambda \approx 0,9\text{--}1,2$ W/(m·K), NiCoCrAlY uchun $\lambda \approx 6\text{--}8$ W/(m·K), INCONEL 718 uchun $\lambda \approx 11,4$ W/(m·K).

Termik kuchlanishlar Lame-Navye tenglamalari yordamida hisoblanadi:

$$\sigma_{\text{qoldiq}} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T / (1 - \nu), \quad (8)$$

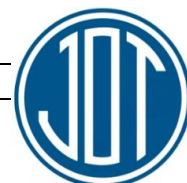
bu yerda E – Yung moduli; α – chiziqli kengayish koeffitsienti; ΔT – harorat farqi; ν – Puasson koeffitsienti.

3. Chekli elementlar modeli (FEM)

(7)–(8) tenglamalar tizimi ANSYS Mechanical APDL 2023R1 paketida chekli elementlar usuli bilan yechiladi. Hisoblash modelining asosiy parametrlari quyida keltirilgan.

Geometriya. Hisoblashlar uchun yuqori bosimli turbina kurakchasining haqiqiy o'lchamlariga mos uch o'lchamli model qurilgan: kurakcha balandligi 60 mm, profil xordasi o'rtacha 35 mm, qoplama tizimining umumiy qalinligi 350–500 mkm (NiCoCrAlY oraliq qatlami 100 mkm va YSZ keramik qatlami 250–300 mkm). Modelda kurakcha tanasidagi sovitish kanallari (5–7 ta dumaloq kanal, diametri 0,8–1,2 mm) hisobga olingan.

Material xossalari. Asos (INCONEL 718): $\rho = 8190$ kg/m³, $c = 435$ J/(kg·K), $\lambda = 11,4$ W/(m·K), $E = 200$ GPa, $\alpha = 13,0 \cdot 10^{-6}$ 1/K, $\nu = 0,29$. Bond coat (NiCoCrAlY): $\rho = 7320$ kg/m³, $c = 450$ J/(kg·K), $\lambda = 6,5$ W/(m·K), $E = 137$ GPa, $\alpha = 14,8 \cdot 10^{-6}$ 1/K, $\nu = 0,30$. Top coat (8YSZ): $\rho = 5650$ kg/m³, $c = 505$ J/(kg·K), $\lambda = 1,0$ W/(m·K), $E = 48$ GPa, $\alpha = 10,5 \cdot 10^{-6}$ 1/K, $\nu = 0,20$.



To'ra zichligi. Hisoblash sohasi SOLID187 (10 tugunli tetraedrik) elementlari yordamida diskretlanadi. Qoplama qatlamlarida to'ring xarakterli o'lchami 25–40 mkm, asos materialida – 200–400 mkm. Umumiy elementlar soni –

Chegaraviy shartlar. Kurakchani tashqi (gaz tomoniga qaragan) sirtida konvektiv issiqlik almashinuvi qabul qilingan: gaz harorati $T_{\text{gaz}} = 1600$ °C, issiqlik berish koeffitsienti $\alpha_{\text{gaz}} = 2500$ W/(m²·K). Ichki sovitish kanallari sirtida $T_{\text{sovitish}} = 600$ °C, $\alpha_{\text{sovitish}} = 6000$ W/(m²·K). Kurakcha tagini mahkamlash sohasida mexanik mahkamlash (uch o'lchamli ko'chish nolga teng), boshqa sirtlarda erkin shart belgilangan. Boshlang'ich harorat 25 °C.

Yechish algoritmi. Hisoblash ikki bosqichda olib borildi: (1) statsionar termik tahlil orqali harorat maydoni $T(x, y, z)$ aniqlandi; (2) olingan harorat maydoni mexanik tahlil bosqichida yuklama sifatida berilib, (8) tenglama bo'yicha qoldiq termik kuchlanishlar hisoblandi.

taxminan $1,2 \cdot 10^6$, tugunlar soni – $1,9 \cdot 10^6$. To'ra mustaqilligi tekshirilgan: to'ra zichligini 1,5 barobar oshirganda haroratning maksimal qiymatidagi farq 0,8 % dan kam.

Yaqinlashish kriterilari: harorat bo'yicha 10^{-4} , ko'chish bo'yicha 10^{-6} .

4. Tajribalarni rejalashtirish (Taguchi usuli)

Texnologik parametrlarning ta'sirini minimal son tajribalarda baholash uchun Taguchi usulidan foydalanildi [5, 6]. Har bir parametr uchun uch daraja (low / mid / high) qabul qilingan (1-jadval). Olti omilli, uch darajali to'liq faktorial tajriba $3^6 = 729$ ta sinovni talab qiladi; Taguchi usuli ortogonal massiv asosida bu sonni keskin kamaytirishga imkon beradi. Tadqiqotda $L_9(3^4)$ massivi 4 ta asosiy parametr (x_1, x_2, x_3, x_5) uchun, kengaytirilgan $L_{16}(4^5)$ massivi esa qolgan ikki parametr (x_4, x_6) ta'sirini ham hisobga olish uchun ishlatildi.

1-jadval

Plazmali purkash usulida texnologik parametrlarning chegaraviy qiymatlari va Taguchi darajalari

№	Parametr	Belgi	O'lchov birligi	Past daraja	O'rta daraja	Yuqori daraja
1	Plazmotron quvvati	x_1	kVt	25	35	45
2	Purkash masofasi	x_2	mm	75	100	125
3	Kukun uzatish tezligi	x_3	g/min	30	45	60
4	Argon (Ar) sarfi	x_4	l/min	25	35	45
5	Qoplama qalinligi (YSZ)	x_5	mkm	150	250	350
6	Asos harorati (oldindan qizdirish)	x_6	°C	150	250	350

Maqsadli funktsiyani parametrlar bilan bog'lovchi regressiya tenglamasi ikkinchi tartibli to'liq polinom shaklida izlanadi:

$$\hat{Y}(X) = \beta_0 + \sum_{i=1}^6 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^6 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j, \quad (9)$$

bu yerda $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ koeffitsientlari eng kichik kvadratlar usuli yordamida tajriba natijalaridan aniqlanadi.

Hisoblash algoritmi quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1) parametrlarning chegaraviy qiymatlari va darajalarini tanlash (1-jadval); 2) L_9 yoki L_{16} ortogonal massiv bo'yicha tajribalar matritsasini tuzish; 3) har bir tajriba nuqtasida FEM hisob-kitobini bajarib, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 ko'rsatkichlarini aniqlash; 4) (2a)–(2b) formulalar bo'yicha mezonlarni normallashtirish; 5) (3) formula bo'yicha umumlashtirilgan $F(X)$ ni hisoblash; 6) (9) ko'rinishdagi regressiya modelini qurish; 7) modelning adekvatligini Fisher mezoni bo'yicha tekshirish; 8) $F(X) \rightarrow \max$ shartiga mos optimal X^* vektorini izlash.

Modelning adekvatligini baholash uchun Fisher mezoni qo'llaniladi:

$$F_{\text{hisob}} = S^2_{\text{adek}} / S^2_{\text{takr}}, \quad (10)$$

bu yerda S^2_{adek} – model adekvatligini xarakterlovchi dispersiya, S^2_{takr} – tajribalarning takroriylik dispersiyasi. $F_{\text{hisob}} < F_{\text{jadval}}(\alpha, f_1, f_2)$ sharti bajarilsa ($\alpha = 0,05$ ahamiyatlilik darajasida), model adekvat hisoblanadi. Tadqiqotda olingan qiymat $F_{\text{hisob}} = 3,21 < F_{\text{jadval}} = 4,26$ ($f_1 = 4, f_2 = 5$) bo'lib, regressiya modeli adekvat ekanligini ko'rsatadi. Determinatsiya koeffitsienti $R^2 = 0,962$.

5. Modellashtirishning sonli natijalari

Yuqorida bayon etilgan algoritmi asosida olib borilgan hisob-kitoblarni shuni ko'rsatdiki, ittriy bilan stabillashgan zirkoniy oksidi (YSZ) qoplamasini gazturbinali dvigatel turbinasi kurakchasiga qo'llash uchun optimal texnologik rejim quyidagicha aniqlanadi (2-jadval). EB-PVD usuli uchun olingan optimal qiymatlar 3-jadvalda keltirilgan.



2-jadval

APS plazmali purkash uchun optimal texnologik rejim

Texnologik parametr	Optimal qiymat	Manba
Plazmotron quvvati	35 kVt	[5]
Purkash masofasi	75–100 mm	[5, 6]
Kukun (YSZ) uzatish tezligi	45 g/min	[6]
Argon sarfi	30 l/min	[6]
Adgeziv qatlam (NiCoCrAlY) qalinligi	100 mkm	[5]
Keramik qatlam (YSZ) qalinligi	250–300 mkm	[1, 4]
Asos materialini oldindan qizdirish	250 °C	[7]

3-jadval

EB-PVD usuli uchun optimal texnologik rejim

Texnologik parametr	Optimal qiymat	Manba
Elektron nurining quvvati	40–60 kVt	[10]
Vakuumdagi bosim	$(2-6) \cdot 10^{-3}$ Pa	[10]
Kondensatsiya tezligi	3–7 mkm/min	[7, 10]
Kurakcha (substrat) harorati	950–1050 °C	[10]
YSZ qatlam qalinligi	125–200 mkm	[7]
Kurakcha aylanish tezligi	15–25 ayl/min	[10]

Olingan natijalarning ishonchligini baholash uchun model bo'yicha hisoblangan ko'rsatkichlar chet el

adabiyotlaridagi tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslandi (4-jadval).

4-jadval

Adabiyot ma'lumotlari va model bo'yicha hisoblangan qiymatlarning taqqoslanishi

Ko'rsatkich	Usul	Adabiyotdagi qiymat	Model bo'yicha hisoblangan qiymat	Farq, %
Adgeziv mustahkamlik, MPa	APS	38–42 [5, 6]	40,5	$\leq 1,3$
G'ovaklik, %	APS	8–12 [6]	9,2	$\leq 7,8$
Termik siklik chidamlilik, sikl	APS	950–1100 [6]	1042	$\leq 5,3$
Harorat pasayishi, °C	APS	100–150 [1, 4]	128	$\leq 2,4$
Termik siklik chidamlilik, sikl	EB-PVD	4500–6500 [7, 10]	5180	$\leq 11,8$



Ko'rsatkich	Usul	Adabiyotdagi qiymat	Model bo'yicha hisoblangan qiymat	Farq, %
Harorat pasayishi, °C	EB-PVD	110–170 [10]	142	≤5,0

4-jadvaldan ko'rinib turibdiki, model bo'yicha hisoblangan qiymatlar adabiyotda keltirilgan tajriba qiymatlari bilan APS uchun 1,3–7,8 % va EB-PVD uchun 5,0–11,8 % gacha bo'lgan farq doirasida moslashadi, bu esa taklif etilayotgan matematik modelning yetarli darajada aniq ekanligini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, EB-PVD usuli ustunsimon (kolonkali) struktura tufayli deformatsiyalarga chidamliligi bo'yicha APS dan 5–8 barobarga ustun bo'lib, kurakchalarning xizmat muddatini 2–5 barobarga uzaytiradi [10]. Shu bilan birga, EB-PVD jihozining narxi va texnologik murakkabligi APS ga nisbatan ancha yuqori, shuning uchun usulni tanlash iqtisodiy va texnik talablar asosida belgilanadi.

Taklif etilayotgan matematik model parametrlarining ta'sir kuchini taqsimlash quyidagicha bo'ldi: purkash masofasi (x_2) – 32 %; plazmotron quvvati (x_1) – 27 %; qoplama qalinligi (x_3) – 19 %; kukun uzatish tezligi (x_4) – 12 %; qolgan parametrlar – 10 %. Bu shuni anglatadiki, plazmotron va qoplanadigan asos orasidagi masofa hamda plazma quvvati qoplamaning sifatiga eng katta ta'sir ko'rsatuvchi parametrlar hisoblanadi.

3. Xulosa

Aviatsiya gazturbinali dvigatellarining yuqori bosimli turbina kurakchalariga issiqlikdan himoya qiluvchi qoplama qo'llash texnologiyasining optimal parametrlarini aniqlash uchun ko'pmazonli matematik model ishlab chiqildi. Model maqsadli funksiyaning og'irlik koeffitsientlari yig'indisi shaklida shakllantirilgan bo'lib, u Furry issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi va Lame-Navye termik kuchlanish tenglamalari bilan birgalikda chekli elementlar usulida (ANSYS Mechanical 2023R1) realizatsiya qilinadi. Tajribalar Taguchi ortogonal massivlari (L_9 , L_{16}) yordamida rejalashtirildi, regressiya modeli koeffitsientlari eng kichik kvadratlar usulida aniqlandi va modelning adekvatligi Fisher mezonini bo'yicha tasdiqlandi ($F_{\text{hisob}} = 3,21 < F_{\text{jadval}} = 4,26$; $R^2 = 0,962$).

Modellashtirish natijasida YSZ keramik qoplamasini APS plazmali purkash usulida nikel asosli superqotishma kurakchalarga qo'llash uchun optimal texnologik rejim aniqlandi: plazmotron quvvati 35 kVt, purkash masofasi 75–100 mm, NiCoCrAlY oraliq qatlam qalinligi 100 mkm, YSZ ustki qatlam qalinligi 250–300 mkm, asosni oldindan qizdirish harorati 250 °C. EB-PVD usuli uchun optimal rejim quyidagicha: elektron nuri quvvati 40–60 kVt, vakuumdagi bosim $(2-6) \cdot 10^{-3}$ Pa, kondensatsiya tezligi 3–7 mkm/min, substrat harorati 950–1050 °C, YSZ qatlam qalinligi 125–200 mkm.

Model bo'yicha hisoblangan qiymatlar adabiyot ma'lumotlari bilan APS uchun 1,3–7,8 % va EB-PVD uchun 5,0–11,8 % farq doirasida mos keldi. Optimal rejimda olinadigan qoplama kurakchalarning ish haroratini 100–150 °C ga pasaytirib, ularning xizmat muddatini 2–5 barobarga uzaytirishga, dvigatel samaradorligini 2–3 % ga oshirishga va yonilg'i sarfini kamaytirishga imkon beradi. Ishlab chiqilgan matematik model O'zbekiston Respublikasi aviatsiya sohasida joriy etilayotgan kurakchalarni ta'mirlash va qayta tiklash texnologiyalarida qo'llanilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Tang Y., Zhang Z., Liu X., Wang Y. Optimized thermal barrier coating for gas turbine blades // Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 6. – P. 925–938. – DOI: 10.3390/ma12060925.
- [2] Adel A., Reddy A.B. Optimization of heat transfer on thermal barrier coated gas turbine blade // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 370, No. 1. – Article 012022. – DOI: 10.1088/1757-899X/370/1/012022.
- [3] Park J.S., Lee J.H., Kim D.H. Effect of the thermal barrier coating set up and modeling in numerical analysis for prediction of gas turbine blade temperature and film cooling effectiveness // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2025. – Vol. 162. – P. 108580. – DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.108580.
- [4] Li W., Yang L., Zhou Y.C., Lu C. Design of thermal barrier coatings thickness for gas turbine blade based on finite element analysis // Mathematical Problems in Engineering. – 2017. – Vol. 2017. – Article ID 2147830. – 11 p. – DOI: 10.1155/2017/2147830.
- [5] Ahmed S., Upadhyay R.K. Analysis and optimization of thermal barrier coating on gas turbine rotor blade using YSZ with variable bond coat // International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering. – 2025. – Vol. 11, No. 2. – P. 3016–3029. – DOI: 10.22399/ijcesen.658.
- [6] Zhang B., Chen K., Baddour N. Optimization of plasma-sprayed CeScYSZ thermal barrier coating parameters and investigation of their CMAS corrosion resistance // Coatings. – 2024. – Vol. 14, No. 11. – P. 1395. – DOI: 10.3390/coatings14111395. Information about the authors
- [7] High performance thermal barrier coatings for aerospace applications // Saint-Gobain Coating Solutions, 2021. – URL: <https://www.coatingsolutions.saint-gobain.com> (murojaat sanasi: 15.04.2026).
- [8] Singh G., Kumar D., Mohapatra S.K. Impact of thermal barrier coatings on temperature distribution of high-pressure gas turbine rotor blades: a computational study // Cogent Engineering. – 2024. – Vol. 11, No. 1. – Article 2416486. – DOI: 10.1080/23311916.2024.2416486.
- [9] Yang L., Liu Q.X., Zhou Y.C., Mao W.G., Lu C. Finite element simulation on thermal fatigue of a turbine blade with thermal barrier coatings // Journal of Materials Science & Technology. – 2014. – Vol. 30, No. 4. – P. 371–380. – DOI: 10.1016/j.jmst.2013.11.005.
- [10] Movchan B.A. EB-PVD technology in the gas turbine industry: present and future // JOM (Journal of the Minerals, Metals & Materials Society). – 1996. – Vol. 48, No. 11. – P. 40–45. – DOI: 10.1007/BF03222998.
- [11]



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

Saydaxmedov Ravshan
Khalkhodjaevich / Ravshan
Saydakhmedov

Toshkent davlat transport universiteti
Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti
"Aviatsiya injiniringi" kafedrasida
professori, texnika fanlari doktori
E-mail:
ravshansaydakhmedov@gmail.com
Tel: + 99894-656-99-44

<https://orcid.org/0000-0002-3674-2423>

Berdimurodov Jasurbek
Sunnatillo o'g'li / Jasurbek
Berdimurodov

Toshkent davlat transport universiteti
Aviatsiya transporti muhandisligi fakulteti
"Aviatsiya dvigatellari va kuch qurilmalari" kafedrasida
magistranti
E-mail:
berdimurodovjasurbek7722@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-1350-3818>
Tel: + 99893-892-77-22



An integral model for assessing the technical efficiency of a regional transport and logistics system: a case study of Khorezm region

A.S. Murodov¹^a, Z.S. Atadjanova¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the technical essence of the regional transport-logistics system, its main parameters, and the theoretical-methodological foundations of its assessment. The interrelation between the transport system and transport potential is explained from the perspective of the “basis → derivative” relationship. The main technical indicators of the transport-logistics system, such as throughput capacity, cargo carrying capacity, operational coefficients, technical efficiency index, and the level of multimodal connectivity, are analyzed. Methods for assessing transport potential based on integral indices, load level, spatial density, and dynamic evaluation models are proposed. In addition, the technical characteristics and existing infrastructure capabilities of the transport-logistics system of the Khorezm region are analyzed.

Keywords: transport-logistics system, transport potential, technical efficiency, throughput capacity, multimodal transport, infrastructure, integral index, digitalization

Hududiy transport-logistika tizimi texnik samaradorligini baholashning integral modeli (Xorazm viloyati misolida)

Murodov A.S.¹^a, Atadjanova Z.S.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada hududiy transport-logistika tizimining texnik mohiyati, uning asosiy parametrlari va baholashning nazariy-metodik asoslari tadqiq etilgan. Transport tizimi va transport salohiyati o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik “asos → hosila” munosabati nuqtai nazaridan yoritilgan. Transport-logistika tizimining o'tkazuvchanlik qobiliyati, yuk ko'tarish quvvati, ekspluatatsion koeffitsientlar, texnik samaradorlik indeksi hamda multimodal bog'lanish darajasi kabi asosiy texnik ko'rsatkichlari tahlil qilingan. Integral indeks, yuklanish darajasi, fazoviy zichlik va dinamik baholash modellari asosida transport salohiyatini baholash usullari taklif etilgan. Shuningdek, Xorazm viloyati transport-logistika tizimining texnik xususiyatlari va mavjud infratuzilma imkoniyatlari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: transport-logistika tizimi, transport salohiyati, texnik samaradorlik, o'tkazuvchanlik qobiliyati, multimodal transport, infratuzilma, integral indeks, raqamlashtirish

1. Kirish

Hududning transport tizimi uning transport salohiyatini shakllantirishning moddiy-texnik va tashkiliy asosi sifatida namoyon bo'ladi. Transport tizimi hududda yuk va yo'lovchilar tashishni ta'minlaydigan infratuzilma obyektlari, transport vositalari, boshqaruv va tashkiliy mexanizmlar majmuasidan iborat bo'lib, u transport xizmatlari ko'rsatishning joriy holati va amaldagi imkoniyatlarini ifodalaydi[2].

Transport salohiyati esa mazmunan kengroq kategoriya bo'lib, u nafaqat mavjud tizimning holatini, balki foydalanilmayotgan zaxiralarni, mavjud quvvatlarni, geostrategik joylashuv afzalliklarini hamda yuk va yo'lovchi oqimlarining istiqboldagi o'sish imkoniyatlarini o'z ichiga oladi. Ilmiy manbalarda u “transport resurslari (vositalar, tizimlar va infratuzilma), shuningdek tashkiliy mexanizmlar va jarayonlar majmui” sifatida talqin qilinadi[3].

Shu nuqtai nazardan, transport tizimi va transport salohiyati o'rtasida “asos → hosila” munosabati mavjud. Rivojlangan, muvozanatlashgan va samarali boshqariladigan transport tizimi yuqori darajadagi transport salohiyatini shakllantirish uchun zarur shart-sharoit yaratadi. Aksincha, tizimdagi eskirish darajasi, infratuzilmadagi “tor joylar”, tarmoqlararo bog'liqlikning pastligi hatto qulay geografik joylashuv sharoitida ham salohiyatni to'liq ro'yogba chiqarishga to'sqinlik qiladi[4].

Bunda o'zaro bog'liqlik ikki tomonlama xarakterga ega. Transport salohiyatini amalga oshirish transport tizimini modernizatsiya qilish, infratuzilmani kengaytirish va boshqaruv mexanizmlarini takomillashtirishni talab etadi. Natijada ijobiy teskari aloqa shakllanadi: tizimning rivojlanishi salohiyatni oshiradi, salohiyatning ortishi esa infratuzilmaga investitsiyalarni rag'batlantiradi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, transport majmuasi mintaqaviy integratsiya jarayonlariga hamda iqtisodiy rivojlanishga kompleks ta'sir ko'rsatadi. Transport

^a <https://orcid.org/0000-0001-8041-3355>

^b <https://orcid.org/0000-0001-7505-5493>



salohiyatini ro'yobga chiqarish hudud uchun barqaror daromad manbai va raqobatbardoshlik omili hisoblanadi. Shu bois transport salohiyatini baholashda doimo uning asosi va ayni paytda cheklovchisi bo'lgan mintaqaviy transport tizimi ko'rsatkichlari chuqur tahlil qilinadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Transport-logistika tizimi (TLT) murakkab, ko'p komponentli va integratsiyalashgan tizim sifatida qoraladi. Uning texnik xususiyatlari va parametrlarini baholashning nazariy asoslari tizimli tahlil, logistika nazariyasi hamda transport iqtisodiyoti kesishgan nuqtada shakllanadi.

TLT samaradorligi ko'p jihatdan uning texnik parametrlariga bog'liq bo'lib, o'tkazuvchanlik qobiliyati, harakatlanuvchi tarkib unumdorligi, tashish siklining davomiyligi, yuklanish darajasi, aylanish vaqti kabirlarni o'z ichiga oladi. Mazkur parametrlar tizimning umumiy funksional samaradorligini belgilaydi.

Hududiy transport-logistika tizimi – bu ma'lum geografik hududda yuk va yo'lovchi oqimlarini samarali, uzluksiz, xavfsiz va ekologik jihatdan barqaror harakatlantirishni ta'minlaydigan murakkab texnik-tashkiliy majmua hisoblanadi[1].

Tizimning texnik mohiyati quyidagi asosiy komponentlar orqali ifodalanadi:

transport infratuzilmasi (yo'llar, temir yo'l liniyalari, ko'priklar, tunnellar, terminallar, yuk ortish-tushirish punktlari, logistika markazlari);

harakat tarkibi (lokomotivlar, vagonlar, avtomobillar, konteynerlar, yuk ko'tarish qobiliyati va texnik holati);

ekspluatatsion jarayonlar (o'tkazuvchanlik, tezlik rejimlari, yuklanish darajasi, qaytish koeffitsienti, marshrut optimallashtirish);

texnologik va axborot ta'minoti (aqlli transport tizimlari – ITS, real vaqt rejimida monitoring, raqamli platformalar, Big Data va AI asosidagi optimallashtirish algoritmlari).

Transport-logistika tizimining texnik salohiyati – ma'lum vaqt birligida (soat, sutka, yil) yuk va yo'lovchi oqimlarini tashish, qayta ishlash, saqlash va yo'naltirish imkoniyatlarining integral ko'rsatkichi sifatida ta'riflanadi. Bu salohiyat quyidagi asosiy texnik parametrlar bilan aniqlanadi:

1. *O'tkazuvchanlik* (C) – infratuzilma ob'ekti yoki tarmoq orqali bir sutkada (yoki soatda) o'tishi mumkin bo'lgan transport birliklari yoki yuk hajmining maksimal miqdori. Matematik ifodasi:

$$C = V_t \cdot p \cdot n \cdot K_f$$

bu yerda:

V_t – o'rtacha harakat tezligi (km/soat);

p – transport oqimi zichligi (birlik/km);

n – yo'nalishlar yoki polosalar soni;

K_f – xavfsizlik va texnologik foydalanish koeffitsienti (0,75–0,95).

Rus olimlari N.N.Gromov, V.A. Persianov, N.S.Uskovlar transport infratuzilma ob'ektlarining o'tkazish qobiliyatining me'yoriy ko'rsatkichlariga transport turlari bo'yicha asoslab o'tishgan. Unga ko'ra transport infratuzilma ob'ektlarining o'tkazish qobiliyati turlicha va taxminan[5]:

- bir izli temir yo'l liniyalari bo'yicha sutkada 24ta dan 65ta juftgacha poezdni;

- ikki izli temir yo'l liniyalari bo'yicha sutkada bitta yo'nalishda 73ta dan 200tagacha poezdni;

- yo'lovchi temir yo'l diametrlari bo'yicha bir soatda bitta yo'nalishda 20ta dan 25 gacha poezdni;

- avtomobil yo'llari bo'yicha bir soatda yo'lining bir polosasi orqali 500tadan 1500 tagacha avtomobillarni o'tkazadi.

Aniq tarkibli ob'ektlar bo'yicha o'tkazish qobiliyati darajasi yana ham turlicha va ular:

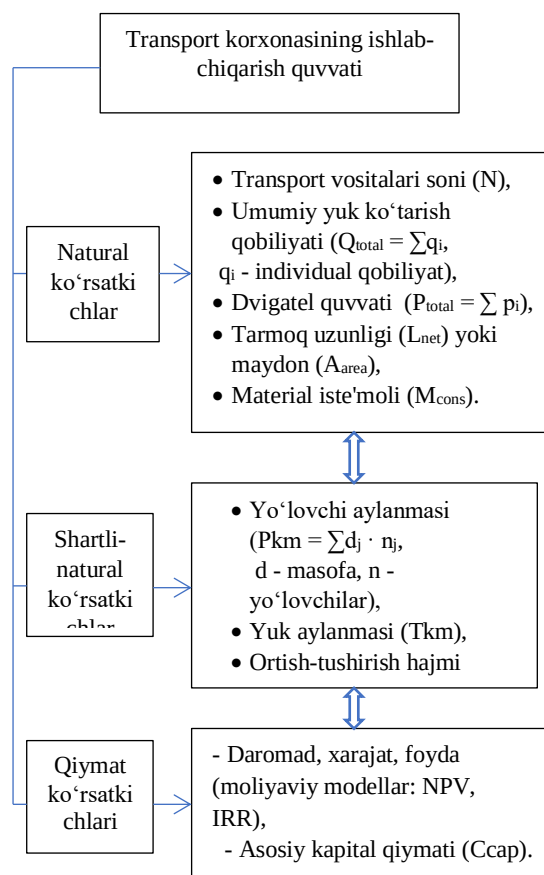
- yo'lovchi stansiyalari bo'yicha – bir soatda 100 ming passajirgacha

- saralash stansiyalari bo'yicha sutkada 10-15 mingta vagongacha

- aeroportlar bo'yicha bir soatda 1100-1200 yo'lovchiga etadi.

- konteyner terminali uchun: $C = 200-500$ TEU/sutka (terminal sig'imiga qarab).

Mazkur me'yoriy ko'rsatkichlar Rossiya olimlari tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, transport infratuzilma ob'ektlarining texnik imkoniyatlarini baholashda umumiy metodik asos sifatida xizmat qiladi. Ushbu yondashuvlardan O'zbekiston transport tizimini tahlil qilishda ham foydalanish mumkin, biroq milliy transport infratuzilmasining texnik holati, harakat intensivligi, logistika oqimlari va hududiy xususiyatlarini hisobga olish zarur.



1-chizma. Transport ishlab-chiqarish quvvati ko'rsatkichlari

Shuningdek, ular transport-ishlab chiqarish quvvati ko'rsatkichlari korxonalarning ish rejimi va texnologiyalariga asosan maksimal mahsulot hajmini belgilaydi deb hisoblaydilar va ularni quyidagi uchta guruhga ajratishgan:



2. Yuk ko'tarish qobiliyati (Q) – transport vositalari va tarmoqning umumiy yuk sig'imi:

$$Q_{total} = \sum q_i \cdot N_i$$

bu yerda:

q_i – i-transport birligining yuk ko'tarish qobiliyati (tonna);

N_i – shu turdagi vositalar soni.

Integral yuk ko'tarish qobiliyati:

$$Q_{int} = Q_{total} \cdot K_{zax}$$

(K_{zax} – zaxira koeffitsienti, odatda 1,15 – 1,30).

3. Eksploatatsion koeffitsientlar tizimi:

Yuklanish darajasi (K_{yuk}):

$$K_{yuk} = \frac{Q_{amal}}{Q_{max}}, 0 \leq K_{yuk} \leq 1,$$

Masofadan foydalanish koeffitsienti

$$(K_{masofa}): K_{masofa} = \frac{L_{yuk}}{L_{um}}$$

Vaqt koeffitsienti

$$(K_{vaqt}): K_{vaqt} = \frac{T_{amal}}{T_{reja}}$$

Bo'sh qatnov koeffitsienti ($K_{b.q.}$):

$$K_{b.q.} = \frac{L_{bo'sh}}{L_{um}} \text{ ideal holatda } \rightarrow 0 \text{ ga intiladi}$$

Ekologik samaradorlik koeffitsienti (K_{eko}):

$$K_{eko} = \frac{N_{EVRO4}}{N_{jami}}$$

Multimodal bog'lanish koeffitsienti (K_{multi}):

$$K_{mult} = \frac{Q_{avto} + Q_{temir} + Q_{boshqa}}{Q_{jami}}$$

4. Zichlik va fazoviy ko'rsatkichlar:

Transport tarmoq zichligi:

$$K_{zich} = \frac{L_{ekspl}}{S} \left(\frac{\text{km}}{\text{km}^2} \right) \text{ yoki } \frac{L_{ekspl}}{N} \text{ (km/1000 aholi)}$$

Yuk oqimi zichligi:

$$K_{y.oqim} = \frac{PL}{S} \text{ (tonna-km) / km}^2 \text{ yoki } K_{y.oqim} = \frac{PL}{L}$$

K_{yoqim} = yoki (tonna-km) / km yo'l

Multimodal uzal zichligi:

$$K_{uzel} = \frac{N_{uzel}}{S} \text{ (uzel/km}^2 \text{)}$$

5. Texnik samaradorligi indeksi (E) – tarmoqning real yuk aylanmasini maksimal texnik imkoniyatga nisbatan ifodalaydi:

$$E = \frac{PL_{amal}}{(C_{max} \cdot T \cdot K_f)}$$

bu yerda:

PL_{amal} – amaldagi yuk aylanmasi (tonna-km);

C_{max} – maksimal o'tkazuvchanlik (tonna/soat yoki tonna/sutka);

T – vaqt birligi (soat yoki sutka);

K_f – foydalanish koeffitsienti (0,75–0,95).

Ideal holatda $E \rightarrow 1$ ga intiladi; $E < 0,5$ bo'lsa – katta texnik zaxira mavjud; $E > 0,9$ bo'lsa – tarmoq quvvat chegarasida ishlamoqda.

Ushbu parametrlar transport tizimining texnik quvvatini to'liq tavsiflaydi va hududning fazoviy, iqlimiy, geologik va infratuzilmaviy xususiyatlariga bog'liq holda o'zgaradi. Texnik salohiyatni baholashning asosiy maqsadi – mavjud resurslardan maksimal darajada foydalanish darajasini aniqlash, texnik zaxiralarni aniqlash va multimodal texnologiyalar orqali tizimni optimallashtirish imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Transport-logistika salohiyatini baholashning matematik asoslari quyidagi usullarga tayangan:

Integral indeks usuli (vaznlangan yig'indi):

$$\varphi = \sum w_i \cdot K_i, \sum w_i = 1, K_i = \frac{(X_i - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \in [0; 1]$$

Yuklanish darajasi modeli:

$$Y_i = \frac{PL_{amal}}{C_{max}}, Y_i \in [0; 1]$$

$Y_i > 0,85$ – yuqori yuklanish (cheklov holati);

$Y_i < 0,40$ – past yuklanish (katta zaxira).

Fazoviy zichlik va multimodal bog'lanish modeli:

$$K_{multi} = \frac{\sum(Q_i \cdot K_i)}{Q_{jami}},$$

bu yerda:

K_i – i-transport turi ulushining multimodal uzal bilan bog'lanish darajasi.

Dinamik baholash modeli (vaqt omilini hisobga olgan holda):

$$\varphi_t = \alpha \cdot \varphi_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot \varphi_{joriy}, \alpha \in [0, 1]$$

– silliqlash koeffitsienti

Xorijiy va mahalliy olimlarning ishlarida (N.N.Gromov, V.A.Persianov, L.B.Mirotn, V.A.Gudkov, A.N.Goryainov, V.A.Nazarichev, T.V.Kuleshova, D.V.Nazarichev va boshqalar) transport salohiyati ko'pincha bir nechta quyi tizimlar (texnik, eksploatatsion, tashkiliy, ekologik, raqamli) yig'indisi sifatida ko'rib chiqiladi. Shu bilan birga, hududiy xususiyatlarni (chegaradoshlik, mavsumiylik, tranzit potentsiali) hisobga olgan holda parametrlarning vazn ahamiyatini o'zgartirish va dinamik baholash zarurati ta'kidlanadi.

O'zbekiston Respublikasining transport tizimi rivojlanishining hozirgi bosqichi quyidagi texnik yo'nalishlar bilan tavsiflanadi:

- raqamli texnologiyalarni joriy etish (ITS, e-CMR, Big Data monitoring);
- multimodal koridorlarni rivojlantirish (avtomobil + temir yo'l + havo);
- ekologik talablarga mos transport vositalarini (EURO-5/6) ko'paytirish;
- yuqori o'tkazuvchanlikli yo'l va terminal infratuzilmasini modernizatsiya qilish.

Xorazm viloyati misolida transport-logistika tizimining texnik salohiyatini baholash quyidagi xususiyatlarni hisobga olishni talab etadi:

- cheklangan temir yo'l tarmog'i (259,8 km, zichlik 34,2 km/1000 km²);
- avtomobil yo'llarining asosiy ulushi (94,2% umumfoydalaniladigan, zichlik 379 km/1000 km²);
- mavsumiy yuk oqimlari (qishloq xo'jaligi mahsulotlari, may-oktyabr oylari);
- xalqaro tranzit imkoniyatlari (Turkmaniston chegarasi, A-380 yo'nalishi);
- raqamlashtirish darajasining pastligi (aqlli bexatlar va monitoring tizimlari soni cheklangan).

Hududiy transport-logistika tizimining texnik salohiyatini baholash nafaqat mavjud infratuzilma parametrlarini aniqlash, balki ularni optimallashtirish, multimodal texnologiyalar orqali integratsiyalash va raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish orqali texnik samaradorlikni oshirish imkoniyatlarini aniqlashdan iboratdir.



3. Xulosa

Transport-logistika tizimining texnik salohiyati hudud iqtisodiy rivojlanishining muhim omillaridan biri hisoblanadi. Tadqiqot natijalari transport tizimi va transport salohiyati o'rtasida uzviy bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi.

Taklif etilgan integral baholash modeli transport infratuzilmasining texnik holati, ekspluatatsion samaradorligi va multimodal integratsiya darajasini kompleks baholash imkonini beradi.

Xorazm viloyati misolida aniqlanishicha, transport-logistika tizimining asosiy muammolari infratuzilmaning cheklanganligi va raqamlashtirish darajasining pastligi bilan bog'liq. Shu bilan birga, tranzit salohiyati va avtomobil yo'llari tarmog'ining rivojlanganligi hudud transport salohiyatini oshirish uchun muhim asos bo'lib xizmat qiladi.

Kelgusida transport-logistika tizimini baholashda raqamli texnologiyalar, intellektual transport tizimlari va prognoz modellarini keng qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Saparbaevna, A. Z., Dिल्фуза, U., Raxmatullayevich, R. R., & Soyibovich, M. A. (2021). Digital Logistics as a Factor of Increasing the Volume and Quality of Transport Services. REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS, 11(4), 2088-2096.

[2] Чернышева Н. В. Транспортная система региона: состав и роль в пространственном развитии // Экономический журнал. — 2020. — № 1 (57). — С. 39–48. DOI: 10.24411/2072-8220-2020-00003 URL:

[3] Рубан В. А. Транспортный потенциал Байкальского региона // Российское

предпринимательство. — 2015. — № 4 (274). — С. 593–600. DOI: 10.18334/tp.16.4.103 URL

[4] Комов М. С. Транспортно-транзитный потенциал региона как важнейший фактор его экономического развития // Вестник Евразийской науки. — 2018. — Т. 10. — № 5

[5] Менеджмент на транспорте. Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Н. Громов, В.А. Персианов, Н.С. Усков и др. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 258 с ISBN 5-7695-1280-6.

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

Murodov
Abdurahim /
Abdurahim
Murodov
Toshkent davlat transport
universiteti "Transport
logistikasi" kafedrası dotsenti
v.v.b,
E-mail:
abdurahimmurodov579@gmail.com
Tel.: +998903304714
<https://orcid.org/0000-0001-8041-3355>

Atadjanova
Zulfiya /
Zulfiya
Atadjanova
Toshkent davlat transport
universiteti "Transport
logistikasi" kafedrası katta
o'qituvchisi
E-mail:
atadzanovazulfiya1@gmail.com
Tel.: +998933856916
<https://orcid.org/0000-0001-7505-5493>



Assessment of the impact of non-stop train crossing on the line capacity of single-track railway sections

U.U. Khusenov¹^a, A.T. Bakoev¹^b, M.B. Bakhtiyorov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article examines the issues related to the implementation of non-stop train crossing technology on single-track railway sections. The proposed technology is aimed at ensuring the continuity of train operations, reducing unnecessary stops and waiting times, and improving the efficiency of existing railway infrastructure utilization. Within the framework of the study, a computational approach was developed to determine the required length of passing sidings. Relevant mathematical relationships were established based on train length, entry speed to the siding track, passing speed on the main track, braking distance, and the time difference in trains arriving at the crossing point. In addition, a schematic model of the non-stop train crossing process was developed, and the factors influencing its main parameters were analyzed. Using the Bukhara 1 – Miskin railway section as a case study, the existing operating conditions were investigated, running times along the block sections were analyzed, and the line capacity of the section was evaluated. Furthermore, the existing train crossing schemes were examined, and their impact on section capacity was determined. The results demonstrated that the implementation of non-stop train crossing technology can increase the section capacity by up to 10 percent. This contributes to improving the efficiency of train operations, ensuring greater timetable stability, and enhancing the overall utilization level of railway sections.

Keywords:

single-track railway section, passing siding, train crossing, non-stop train crossing, line capacity, train timetable, useful length

Bir yo‘lli temir yo‘l uchastkalarida poyezdlarni to‘xtatmasdan kesishtirishning o‘tkazuvchanlik qobiliyatiga ta‘sirini baholash

Xusenov O‘.O‘¹^a, Baqoyev A.T.¹^b, Baxtiyorov M.B.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada bir yo‘lli temir yo‘l uchastkalarida poyezdlarni to‘xtatmasdan kesishish texnologiyasini joriy etish masalalari ko‘rib chiqilgan. Ushbu texnologiya poyezdlar harakatining uzluksizligini ta‘minlash, ortiqcha to‘xtash va kutish vaqtlarini kamaytirish hamda mavjud infratuzilmadan samarali foydalanishga qaratilgan. Tadqiqot doirasida razyezdlarning zaruriy uzunligini aniqlash bo‘yicha hisobiy yondashuv ishlab chiqilib, poyezd uzunligi, yon yo‘lga kirish tezligi, asosiy yo‘ldan o‘tish tezligi, tormoz yo‘li uzunligi hamda poyezdlarning kesishish nuqtasiga yetib kelishidagi vaqt farqi asosida tegishli matematik bog‘lanishlar keltirilgan. Shuningdek, poyezdlarning to‘xtatmasdan kesishish jarayonining sxematik modeli ishlab chiqilib, uning asosiy parametrlariga ta‘sir etuvchi omillar tahlil qilingan. Buxoro-1 – Miskin temir yo‘l uchastkasi misolida mavjud harakat sharoiti o‘rganilib, peregonlar bo‘yicha harakat vaqtlari tahlil qilindi hamda uchastkaning o‘tkazuvchanlik qobiliyati baholandi. Shuningdek, mavjud sharoitda poyezdlarni kesishish sxemalari tahlil qilinib, ularning o‘tkazuvchanlikka ta‘siri aniqlangan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, poyezdlarni to‘xtatmasdan kesishish texnologiyasini joriy etish orqali uchastkaning o‘tkazuvchanlik qobiliyatini 10 foizgacha oshirishga imkon beradi. Bu esa poyezdlar harakatining samaradorligini oshirish, harakat jadvalining barqarorligini ta‘minlash hamda temir yo‘l uchastkalaridan foydalanish darajasini yaxshilashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar:

bir yo‘lli temir yo‘l uchastkasi, razyezd, poyezdlarni kesishish, poyezdlarni to‘xtatmasdan kesishish, o‘tkazuvchanlik qobiliyati, poyezdlar harakati grafigi, foydali uzunlik

1. Kirish

O‘zbekiston temir yo‘l transportida bir yo‘lli uchastkalar ustunlik qilib, ularning ulushi umumiy temir yo‘l tarmog‘ining 87,8% ini tashkil etadi. Bu esa poyezdlar harakatini tashkil etishda uchastkalarining o‘tkazuvchanlik

qobiliyatini oshirish masalasini dolzarb muammoga aylantiradi [1].

2015-2025 yillarga mo‘ljallangan poyezdlar harakati grafiklari tahlili shuni ko‘rsatdiki, qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlanuvchi yuk poyezdlari kesishish jarayonida o‘rtacha 40% ortiqcha vaqt zaxirasiga ega [1].

^a  <https://orcid.org/0000-0001-7500-4741>

^b  <https://orcid.org/0009-0003-0655-0448>

^c  <https://orcid.org/0009-0008-8800-8715>



Ushbu ortiqcha vaqt poyezdlarning razyezd va stansiyalarda uzoq muddat kutib turishiga olib keladi, natijada yo'llarning bandligi ortadi va uchastkalarining o'tkazuvchanlik qobiliyati pasayadi.

An'anaviy sharoitda poyezdlar razyezd punktlarida to'xtab kesishadi, bu esa poyezdlar orasidagi intervalning ortishiga va harakat jadvalining samaradorligining kamayishiga olib keladi. Natijada bir yo'lli uchastkalarda mavjud infratuzilmadan to'liq foydalanish imkonini cheklanadi. Shu sababli poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur texnologiya razyezdlarni optimal loyihalash orqali poyezdlar harakatini to'xtatmasdan tashkil etish imkonini beradi va natijada uchastkalarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qiladi.

Ushbu maqolaning maqsadi bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlarni to'xtamasdan kesishishni ta'minlash uchun razyezdlarni loyihalash usullarini o'rganish, zaruriy uzunlikni hisoblash hamda ushbu texnologiyaning uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ta'sirini baholashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Temir yo'l transportining bir yo'lli uchastkalarda poyezdlar harakatini tashkil etish va ularning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish masalalari ko'plab ilmiy tadqiqotlarda ko'rib chiqilgan. Ushbu tadqiqotlarda asosan razyezdlarning konstruktiv tuzilishi, ularning joylashuvi va poyezdlar harakatini boshqarish usullari tahlil qilingan. So'nggi tadqiqotlarda poyezdlar harakati grafiklarini optimallashtirishga alohida e'tibor qaratilib, ayniqsa, bir yo'lli uchastkalarda poyezdlarning o'zaro kesishish jarayonida yuzaga keladigan kechikishlarni kamaytirish masalalari o'rganilgan.

Ilmiy tadqiqotlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, temir yo'l uchastkalarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish ikki asosiy yo'nalish, tashkiliy va texnik yechimlar orqali amalga oshiriladi.

Tashkiliy yondashuvlarda poyezdlar harakati grafiklarini optimallashtirish, ularning tezligini moslashtirish hamda harakat jarayonini boshqarish usullarini takomillashtirish orqali samaradorlikni oshirish masalalari ko'rib chiqilgan. Jumladan, [1] ilmiy maqolada bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlarning o'zaro kesishish jarayonini energiya samaradorligi asosida optimallashtirish masalalari ko'rib chiqilgan. Mualliflar poyezdlar tezligini moslashtirish orqali ortiqcha kutish vaqtlarini kamaytirish va harakat grafisini muvozanatlashtirish mumkinligini asoslab bergan. Natijada ushbu yondashuv uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini yaxshilashga xizmat qilishi ko'rsatilgan. [2] ilmiy maqolada esa ma'lum temir yo'l uchastkasining o'tkazuvchanlik va tashish qobiliyatini oshirish masalalari tahlil qilingan hamda poyezd og'irligi va harakat tezligini optimallashtirish asosida uchastkaning maksimal imkoniyatlarini aniqlashga qaratilgan matematik model taklif etilgan. Natijada ushbu yondashuv orqali uchastkaning tashish qobiliyatini sezilarli darajada oshirish mumkinligi asoslab berilgan. I. Amit va D. Goldfarbning tomonidan olib borilgan [3] tadqiqotda temir yo'l poyezdlar harakati grafiklarini tuzish masalasi matematik optimallashtirish muammosi sifatida ko'rilgan va poyezdlar harakatini muvofiqlashtirish hamda kesishish jarayonlarini samarali tashkil etish uchun nazariy asoslarni ishlab chiqilgan. Ushbu ish temir yo'l transportida harakat jadvalini optimallashtirish bo'yicha keyingi tadqiqotlar uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. L. Yang va boshqalarning [4] ilmiy maqolasida temir yo'l tarmog'ida

poyezdlar harakatini optimallashtirish masalasi kompleks yondashuv asosida ko'rib chiqilgan. Mualliflar poyezdlar harakatini muvofiqlashtirish va resurslardan samarali foydalanish orqali tizimning umumiy samaradorligini oshirish imkoniyatlarini tahlil qilganlar. Natijada ushbu yondashuv temir yo'l tarmog'ining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan. X. Xu va boshqalarning [5] ilmiy tadqiqotida bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlar harakati grafiklarini tezlikni optimallashtirish asosida muvozanatlashtirish masalasi ko'rib chiqilgan. Natijada ushbu yondashuvning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan.

Yuqorida ko'rib chiqilgan tashkiliy yechimlar poyezdlar harakati grafiklarini optimallashtirish orqali o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Biroq ushbu yondashuvlarda temir yo'l infratuzilmasining real holati yetarli darajada inobatga olinmagan. Xususan, razyezdlarning uzunligi, joylashuvi va geometrik parametrlari kabi muhim omillar chuqur tahlil qilinmagan. Shuningdek, poyezdlarni to'xtamasdan kesishish imkoniyatini belgilovchi texnik va ekspluatatsion sharoitlar ham yetarlicha hisobga olinmagan. Natijada bu yondashuvlar amaliyotda qo'llanishi cheklangan bo'lib, o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish masalasini kompleks hal etishni talab qiladi.

Texnik yondashuvlarda esa temir yo'l infratuzilmasini takomillashtirish orqali o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish masalalari ko'rib chiqilgan. Jumladan, razyezdlarning optimal uzunligi va joylashuvini aniqlash orqali poyezdlar kesishishini samarali tashkil etish mumkinligi asoslab berilgan. Shuningdek, kesishish jarayonini muvozanatlashtirish va harakatni barqarorlashtirishga qaratilgan texnik yechimlar taklif etilgan. Jumladan, M. Dorfman va J. Medanic [6] tadqiqotida temir yo'l tarmog'ida poyezdlar harakatini rejalashtirish masalasi diskret hodisalar modeli asosida o'rganilgan. Natijada harakat jarayonini modellashtirish orqali poyezdlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni va kechikishlarni aniqlash imkoniyati yaratilib, o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan. A. Higgins va boshqalarning [7] ilmiy maqolasida bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlarni kesishish jarayonini samarali tashkil etish va kechikishlarni kamaytirish imkonini beruvchi matematik model taklif etilgan. Natijada, ushbu yondashuv uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan. International Union of Railways (UIC) [8] tomonidan ishlab chiqilgan UIC Code 406 hujjatida temir yo'l uchastkalarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini baholash va oshirish usullari bayon etilgan. Unda infratuzilma elementlari, jumladan razyezdlar va yo'l uchastkalarining yuklanish darajasini aniqlash bo'yicha metodik yondashuvlar keltirilgan. Ushbu metodika temir yo'l tizimining real o'tkazuvchanligini aniqlash va uni oshirish bo'yicha muhim amaliy asos bo'lib xizmat qiladi. Pacht J. [9] tomonidan yozilgan "Railway Operation and Control" asarida temir yo'l harakatini tashkil etish va boshqarishning nazariy hamda amaliy asoslari yoritilgan. Unda stansiyalar, razyezdlar va signalizatsiya tizimlarining harakat samaradorligiga ta'siri batafsil tahlil qilingan. Ushbu manba temir yo'l infratuzilmasi parametrlarini aniqlash va o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish bo'yicha muhim nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. Szpigiel B. [10] tadqiqotida bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlar harakatini optimal rejalashtirish masalasi ko'rib chiqilgan. Muallif



poyezdlar kesishish jarayonini matematik modellashirish asosida tahlil qilib, samarali jadval tuzish usullarini taklif etgan. Ushbu yondashuv poyezdlar harakatini muvofiqlashtirish va uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan.

Yuqorida ko'rib chiqilgan texnik yechimlarlar temir yo'l infratuzilmasini takomillashtirish orqali o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Biroq ushbu yondashuvlarda poyezdlar harakati jarayonining tashkiliy jihatlari yetarli darajada inobatga olinmagan. Xususan, poyezdlar harakati grafiklarini optimallashtirish va tezlikni moslashtirish kabi omillar bilan bog'liq masalalar chuqur tahlil qilinmagan. Shuningdek, harakat jarayonida yuzaga keladigan kechikishlar va ularning o'zaro ta'siri kompleks tarzda hisobga olinmagan. Natijada bu yondashuvlar infratuzilma imkoniyatlarini oshirishga xizmat qilsa-da, umumiy harakat samaradorligini to'liq ta'minlab bera olmaydi.

Mazkur maqolada bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlarni to'xtamasdan kesishish orqali o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish masalasi ko'rib chiqiladi. Unda razyezdlarning zaruriy uzunligini aniqlash bo'yicha hisobiy yondashuv taklif etiladi. Natijada ushbu yechim orqali uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish va poyezdlar harakat samaradorligini yaxshilash imkoniyati asoslab beriladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Mazkur tadqiqotda bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlar kesishish jarayonini tahlil qilish va ularni to'xtamasdan tashkil etish imkoniyatlarini aniqlash maqsadida nazariy va hisobiy usullardan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida poyezdlar harakati parametrlari, ularning tezligi, uzunligi hamda kesishish vaqt farqi asosiy omillar sifatida qabul qilindi.

Hisoblashlar mavjud metodik yondashuvlarga asoslangan holda bajarilib, razyezd uzunligini aniqlash uchun matematik bog'lanishlar ishlab chiqildi. Shuningdek, turli harakat sharoitlari uchun poyezdlarning kesishish jarayoni modellashirildi va poyezdlarning razyezddagi optimal harakatini tashkil etishga xizmat qiladi.

3.1. Razyezdda poyezdlarni o'zaro kesishtirish texnologiyasi

Bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlarni kesishtirish va quvib o'tish uchun razyezdlar loyihalanadi.

Qabul-jo'natish yo'llarining joylashuviga ko'ra razyezdlar bo'ylama (bir tomonlama va qarama-qarshi tomonlama) (1-rasm), yarim bo'ylama va ko'ndalang turlarga bo'linadi (2-rasm). Razyezd turini aniqlashda temir yo'l liniyasining kategoriyasi, harakat miqdori, loyihalash uchun ajratilgan stansiya maydonining uzunligi, yon yo'llarining rejasi va profili hisobga olinadi.

Bo'ylama turdagi razyezdlar avtoblokirovka va dispetcherlik markazlashtirilgan boshqaruvi sharoitida eng samarali hisoblanadi. Bo'ylama turdagi razyezdlarni loyihalash uchun 2000-2450 m uzunlikdagi maydoncha talab etiladi.

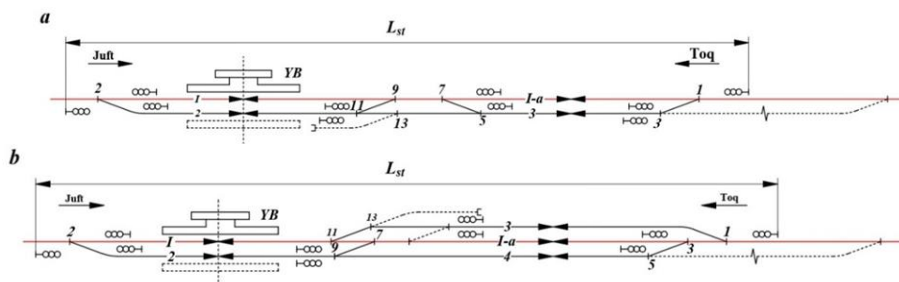
Qabul-jo'natish yo'llari bo'ylama bir tomonlama joylashtirilgan razyezd sxemasi (1a-rasm) yaqin yillarda ikkinchi asosiy yo'l qurilishi rejalashtirilgan liniyalarda qo'llash uchun eng maqsadga muvofiq va asosiy hisoblanadi. Bunday sxema poyezdlar kesishish intervalini kamaytirish va uchastkalar uzunligini qisqartirish hisobiga yondosh uchastkalarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkonini beradi.

Qabul-jo'natish yo'llari bo'ylama qarama-qarshi tomonlarda joylashtirilgan razyezdlar (1b-rasm) ko'p miqdordagi yo'lovchi poyezdlar yuk poyezdlarini quvib o'tgan holda o'tkaziladigan sharoitlarda yoki qabul-jo'natish yo'llaridan biri uchastkaning bosh nishabligiga yaqin joylashgan holatlarda quriladi. Shuningdek bunday razyezdlar bosh yo'lning har ikkala tomonida yuk ortish-tushirish maydonchalarini joylashtirish zarur bo'lgan holatlarda ham loyihalanadi.

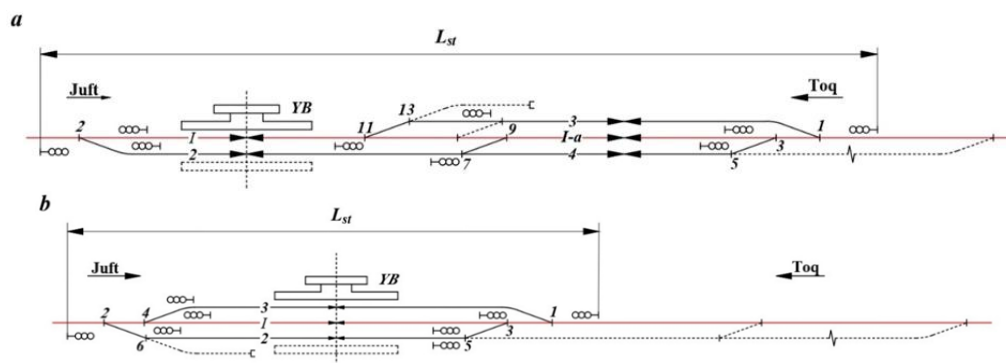
Agar stansiya uchun ajratilgan joy uzunligi cheklangan bo'lsa (1600-1800 m), yarim bo'ylama turdagi razyezdlar quriladi (2a-rasm). Ular bo'ylama turdagi razyezdlardan qabul-jo'natish yo'llarining asosiy yo'l bo'ylab siljishi bilan farqlanadi. Yo'llarning siljish miqdori stansiya maydonchasining uzunligiga qarab turlicha bo'lishi mumkin, biroq kamida 450-500 m uzunlikdagi yo'lovchi poyezdni foydali uzunlik doirasida, yo'lovchi binosi yonidagi asosiy yo'lga joylashtirish imkonini berishi lozim.

Ko'ndalang turdagi razyezdlar uchun 1100-1500 m uzunlikdagi stansiya maydonchasi talab etiladi. Ularning asosiy afzalligi – maydoncha uzunligining kichik bo'lishidir. (2b-rasm) Kamchiligi esa – qarama-qarshi yo'nalishlardan bir vaqtda poyezd qabul qilish sharoitlarining yomonlashuvi hamda to'xtamasdan kesishish holatiga o'tishda yo'l yotqizish uchun katta xarajatlar talab qilinishidir.

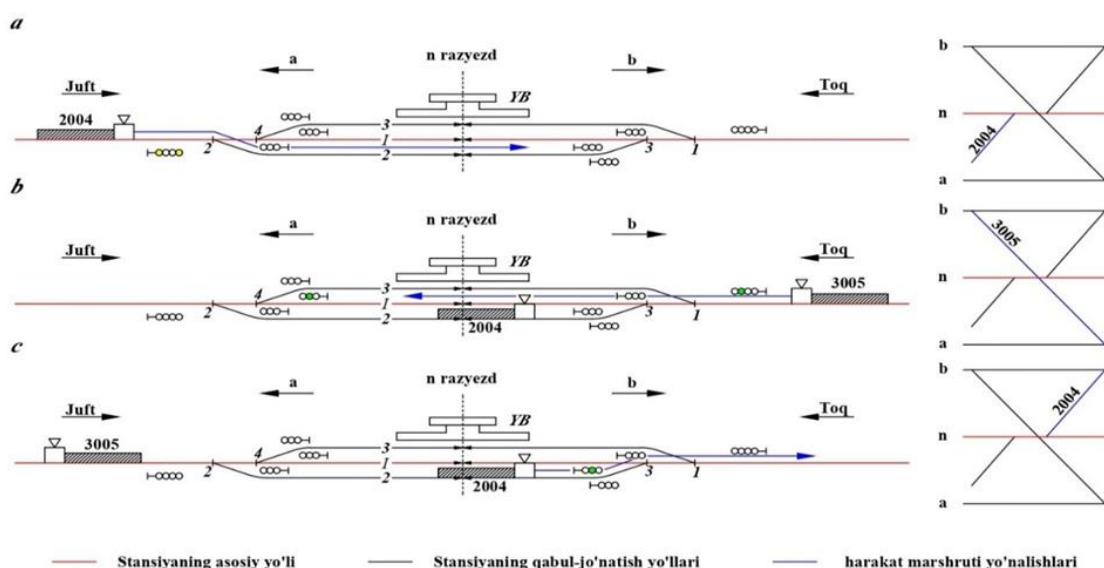
Razyezdda poyezdlarni kesishish jarayoni ketma-ket bosqichlarda amalga oshiriladi (3-rasm).



1-rasm. Bo'ylama turdagi razyezdlar sxemasi: a – yo'llari bir tomonlama joylashgan; b – yo'llari qarama-qarshi joylashgan; Lst – stansiya maydonchasining uzunligi; YB – yo'lovchi binosi



2-rasm. Yarim bo'ylama va ko'ndalang turdagi razyezdlar sxemasi: a – yo'llarning yarim bo'ylama holatda joylashuvi; b – yo'llarning ko'ndalang holatda joylashuvi; L_{st} – stansiya maydonchasining uzunligi; YB – yo'lovchi binosi



3-rasm. Ikki qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan poyezdni razyezdda kesishtirish

2004-poyezdlarning qabul qilinishi uchun marshrut tayyorlash (t_1), uni yon yo'lga qabul qilish va marshrutni bekor qilish (t_2), qarama-qarshi yo'nalishdagi 3005-poyezdning asosiy yo'ldan o'tishi uchun marshrut tayyorlash (t_3) hamda, kesishish yakunlangach harakatning tiklanishi uchun yon yo'lda turgan poyezdga jo'natish marshrutini tayyorlashdan (t_4) iborat (4-rasm).

Amallar nomi	Vaqt davomiyligi (daqqa)			
	1	2	3	4
2004 raqamli poyezdni qabul qilish uchun marshrut tayyorlash	t_1			
2004 raqamli poyezd uchun qabul qilish marshrutni bekor qilish		t_2		
3005 raqamli poyezdni o'tkazib yuborish uchun marshrut tayyorlash			t_3	
2004 raqamli poyezdni jo'natish uchun marshrut tayyorlash				t_4
Ikki poyezdning razyezdga yetib kelish vaqtleri farqi		t_{farq}		
Umumiy davomiylik			t_{um}	

4-rasm. Poyezdlarni razyezdda kesishtirishning texnologik tartibi

Mazkur jarayonda poyezdlarning to'xtashi, kutishi va qayta tezlanishi bilan bog'liq qo'shimcha vaqt yo'qotishlari

yuzaga keladi. Natijada poyezdlar orasidagi interval ortib, uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyati pasayadi. Ayniqsa, harakat zichligi yuqori bo'lgan bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida bu holat poyezdlar harakati grafingining buzilishiga ham sabab bo'lishi mumkin. Shu bois poyezdlarni to'xtatmasdan kesishish texnologiyasini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur texnologiya poyezdlar harakatining uzluksizligini ta'minlash, vaqt yo'qotishlarini kamaytirish hamda temir yo'l uchastkasining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkonini beradi. Bundan tashqari, poyezdlarni to'xtatmasdan kesishishni tashkil etish lokomotivlarning yoqilg'i va energiya sarfini kamaytirishga, harakat jadvalining barqarorligini oshirishga hamda temir yo'l infratuzilmasidan foydalanish samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi. Shu bilan birga, poyezdlarning bekor turib qolish vaqtlarining qisqarishi yuk va yo'lovchi tashish jarayonining tezkorligini oshiradi. Natijada temir yo'l transportining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilanib, mavjud uchastkalarining qo'shimcha kapital xarajatsiz samaraliroq ishlashi ta'minlanadi.

3.2. Razyezdda poyezdlarni to'xtatmasdan kesishtirish texnologiyasi

Poyezdlarni to'xtatmasdan kesishish texnologiyasi bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanuvchi poyezdlarning razyezd hududida to'xtatmasdan o'zaro kesishishini ta'minlashga qaratilgan.

Ushbu texnologiya razyedzlarning yetarli uzunlikda loyihalaniishi hamda poyezdlar harakati parametrlarini moslashtirish asosida amalga oshiriladi.

Mazkur texnologiyani asosiy afzalligi poyezdlarning to'xtash va qayta tezlanish jarayonlarini bartaraf etish orqali harakatning uzluksizligini ta'minlashdan iborat.

5-rasm sxemasida juft yo'nalishdan qabul qilindan poyezd avval, toq yo'nalishdan kelayotgan poyezd keyin kelgan hol uchun poyezdlarning uchta holati ko'rsatilgan:

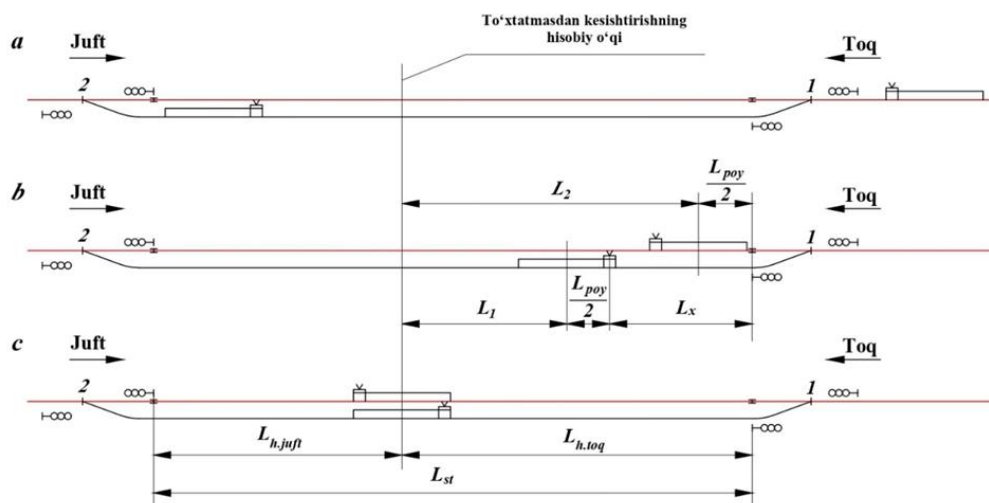
5-rasmda poyezdlarni to'xtamasdan kesishish jarayonining hisoblash sxemasi keltirilgan. Rasmda kesishish jarayonining uchta asosiy bosqichi (a – boshlang'ich holat, b – kesishish jarayoni, c – yakuniy holat) tasvirlangan.

a-holatda juft yo'nalishdagi poyezd kesishish hisobiy o'qidan o'tadi, toq yo'nalishdagi poyezd esa hali kesishish uchastkasiga kirib kelmagan bo'ladi. b-holatda poyezdlar kesishish hududida harakatlanadi va ularning o'zaro

joylashuvi hisoblash uchun asosiy geometrik parametrlarni aniqlash imkonini beradi. c-holatda kesishish jarayoni yakunlanadi va poyezdlar uchastkani tark etadi.

Rasmda keltirilgan L_1 va L_2 masofalar mos ravishda poyezdlarning ketma-ket holatlar orasida bosib o'tadigan yo'lini ifodalaydi. $L_{h.juft}$ va $L_{h.toq}$ kesishish o'qidan chiqish signallarigacha bo'lgan masofalarni, L_{poy} esa poyezd uzunligini bildiradi. Ushbu parametrlar asosida to'xtamasdan kesishish uchastkasining zaruriy uzunligini aniqlash mumkin.

To'xtamasdan kesishish uchastka uzunligini aniqlash uchun avvalo to'xtamasdan kesishish o'qidan chiqish signallarigacha bo'lgan masofalar: juft yo'nalishda $L_{h.juft}$ va toq yo'nalishda $L_{h.toq}$ (5-rasm) hisoblanadi. Juft yo'nalishdan kelayotgan poyezd kesishish hisobiy o'qidan o'tadi, toq yo'nalishdan kelayotgan poyezd esa hali kesishish uchastkasiga kirgan bo'lmaydi;



5-rasm. Poyezdlarning to'xtamasdan kesishtirish uchun razyedzlarni hisoblash sxemasi: a – 1-holat; b – 2-holat; c – 3-holat; $L_{h.juft}$ va $L_{h.toq}$ – mos ravishda kesishish o'qidan juft va toq chiqish signallarigacha bo'lgan masofalar; L_{poy} – poyezd uzunligi; L_1 – juft yo'nalish poyezdi birinchi holatdan ikkinchi holatga o'tguncha bosib o'tadigan masofa; L_2 – toq yo'nalish poyezdi ikkinchi holatdan uchinchi holatga o'tguncha bosib o'tadigan masofa

6-rasmda poyezdlarni to'xtamasdan kesishish uchun ajratish punktlarini qayta qurish sxemalari keltirilgan. Ushbu sxemalarda to'xtamasdan kesishishning hisobiy o'qidan juft va toq yo'nalishlar bo'yicha chiqish svetoforigacha bo'lgan masofalar mos ravishda $L_{h.juft}$ va $L_{h.toq}$ bilan ifodalanadi, stansiya maydonining umumiy uzunligi esa L_{st} bilan belgilanadi.

Keltirilgan sxemalar razyedzlarni qayta qurishda kesishish uchastkalarining optimal joylashuvini aniqlash, shuningdek poyezdlar harakati parametrlarini muvofiqlashtirish orqali to'xtamasdan kesishish texnologiyasini samarali joriy etish imkonini beradi.

3.4. Poyezdlarni to'xtamasdan kesishtirish shartlari va cheklovlar

Poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasini amaliyotga joriy etish yuqorida ko'rib chiqilgan hisoblash usullari va konstruktiv yechimlar bilan bir qatorda, muayyan ekspluatatsion va texnik shartlarning bajarilishini ham talab etadi. Mazkur texnologiyani samarali ishlashi poyezdlar harakat parametrlarining o'zaro muvofiqlashtirilganligi, kesishish uchastkalarining yetarli uzunligi hamda infratuzilmaning zamonaviy boshqaruv vositalari bilan jihozlanganligiga bevosita bog'liq.

Shu bois to'xtamasdan kesishish jarayonini tashkil etishda asosiy shartlar va ularni cheklovchi omillarni aniqlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasi bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanuvchi poyezdlarning razyezd hududida to'xtamasdan o'zaro kesishishini ta'minlashga qaratilgan. Ushbu texnologiyani samarali joriy etish temir yo'l uchastkasining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish, poyezdlar harakatining uzluksizligini ta'minlash hamda ekspluatatsion samaradorlikni yaxshilash imkonini beradi. Mazkur texnologiyani loyihalash va amaliyotga joriy etishda bir qator texnologik, ekspluatatsion hamda infratuzilmaviy omillarni kompleks hisobga olish zarur.

Poyezdlarning to'xtamasdan kesishishni loyihalashda quyidagilar ta'minlanishi zarur:

To'xtamasdan kesishish texnologiyasini samarali joriy etish uchun quyidagi asosiy shartlar ta'minlanishi zarur:

- kesishish uchastkalari orasidagi pergonlarda poyezdlarning harakat vaqti o'zaro muvofiqlashtirilgan bo'lishi kerak. Bunda qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanuvchi poyezdlarning kesishish nuqtasiga yaqin vaqtda yetib kelishi ta'minlanadi;

– kesishish uchastkalarining uzunligi poyezdlarning to'xtamasdan o'zaro kesishishini ta'minlaydigan darajada bo'lishi lozim. shu bilan birga, uchastka oxirida zarurat tug'ilganda poyezdning xavfsiz to'xtashi va keyinchalik harakatni davom ettirishi uchun ekspluatatsion sharoitlar yaratilgan bo'lishi kerak;

– uchastka zamonaviy boshqaruv tizimi, jumladan, dispatcherlik markazlashtirilgan boshqaruvi, avtomatik lokomotiv signalizatsiyasi va avtostop tizimlari poyezdlar harakatining uzluksizligi hamda xavfsizligini ta'minlaydi. Kesishish uchastkalarida vaqt bo'yicha identiklik talabi barcha pergonlarga to'liq tatbiq etilmaydi. Xususan, uchastka va saralash stansiyalariga tutashgan pergonlarda poyezdlar juftligining yurish vaqti hisobiy qiymatga nisbatan

4-5 daqiqaga qisqartirilgan holda qabul qilinadi. Mazkur yondashuv stansiyalarda poyezdlarni qabul qilish va jo'natish jarayonlarining texnologik barqarorligini ta'minlash, shuningdek, umumiy harakat jarayonining uzluksizligini oshirish uchun zarur hisoblanadi.

Har qanday to'xtamasdan kesishish uchastkasi – uning razyezd, oraliq stansiyasi yoki maxsus ikki yo'lli qo'yilma shaklida tashkil etilganligidan qat'i nazar, belgilangan ekspluatatsion talablarni to'liq qanoatlantirishi zarur. Xususan, ushbu uchastka poyezdlarning turli vaqtda yetib kelish sharoitida ham ularning xavfsiz va uzluksiz kesishishini ta'minlashi lozim.

Mazkur talablarga muvofiq, to'xtamasdan kesishish uchastkasining uzunligi quyidagi shartlarni qanoatlantirishi lozim:

– kesishish uchastkasi poyezdlarning nafaqat bir vaqtda, balki turli vaqtlarda yetib kelishi sharoitida ham ularning uzluksiz, xavfsiz va o'zaro to'qnashuvsiz kesishishini ta'minlashi zarur;

– poyezdlarning kesishish nuqtasiga yetib kelishidagi vaqt tafovuti normativ jihatdan cheklangan bo'lib, u 3 daqiqadan

oshmasligi kerak, og'ir profil sharoitlarida hamda mavjud liniyalarda esa yo'l yotqizish hajmini optimallashtirish maqsadida ushbu qiymat 2 daqiqadan oshmasligi bilan chegaralanadi.

Shunday qilib, poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasini joriy etish uchun kesishish uchastkalarining parametrlarini to'g'ri tanlash, poyezdlar harakati vaqtlarini muvofiqlashtirish hamda mavjud infratuzilma imkoniyatlarini hisobga olish zarur. Belgilangan shartlar va cheklovlarga rioya etilishi texnologiyaning xavfsiz va barqaror ishlashini ta'minlaydi.

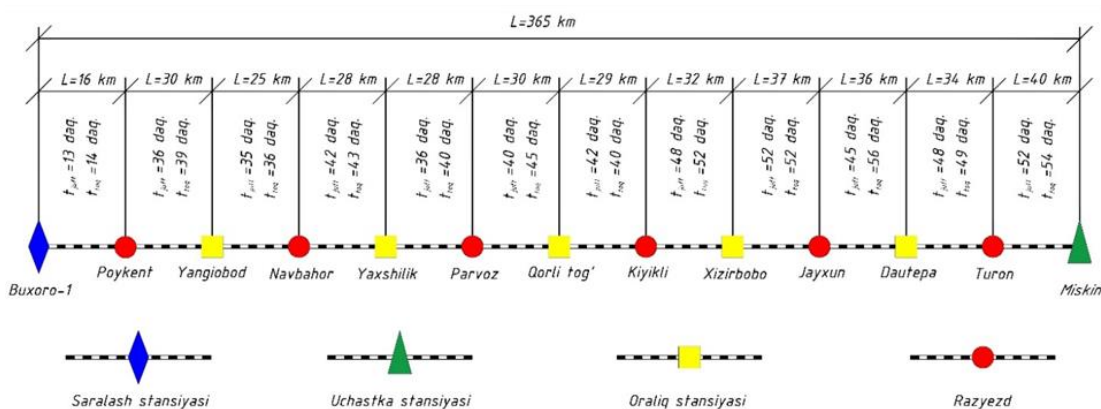
Mazkur tadqiqotning keyingi bosqichida real temir yo'l uchastkalari misolida poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasining o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ta'siri baholanadi.

3. Natija va muhokamalar

Ushbu texnologiyani real temir yo'l uchastkasiga joriy etishning samaradorligini baholash maqsadida Buxoro-1 – Miskin bir yo'lli temir yo'l uchastkasi misolida tahlil amalga oshirildi (7-rasm). Ushbu uchastka uzunligi 365 kmni tashkil etib, u bir nechta razyezd va oraliq stansiyalar orqali ajratilgan.

7-rasmda ushbu uchastkada peregonlar uzunligi hamda poyezdlarning harakat vaqtlari taqsimlanishi keltirilgan. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, peregonlar uzunligining va harakat vaqtlarining notekis taqsimlanishi poyezdlar kesishish jarayonida qo'shimcha kutish vaqtlarining yuzaga kelishiga olib keladi.

Shu bois ushbu uchastkada poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasini joriy etish orqali mavjud infratuzilmadan samaraliroq foydalanish hamda uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkoniyati mavjud.



7-rasm. Buxoro-1 – Miskin temir yo'l uchastkasida peregonlar uzunligi va yuk poyezdlarining harakatlanish vaqti

Mavjud sharoitda uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini baholash maqsadida peregonlar bo'yicha poyezdlar harakat vaqtlari tahlil qilindi (7-rasm). Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, uchastka bo'yicha harakat vaqtlari sezilarli darajada farqlanib, ularning notekis taqsimlanganligi kuzatiladi.

Bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida o'tkazuvchanlik qobiliyati, odatda, eng katta vaqt sarfi talab qiluvchi peregon bilan aniqlanadi. Mazkur uchastkada aynan shu peregonlar umumiy harakat jadvalining eng tig'iz holatini tashkil etib, poyezdlar harakatining ritmikligini buzadi va qo'shimcha kutish vaqtlarining yuzaga kelishiga sabab bo'ladi.

Natijada uchastkaning mavjud o'tkazuvchanlik qobiliyati harakat vaqtlari notekisligi bilan cheklanadi. Bu esa poyezdlar harakatini yanada zichlashtirish imkoniyatlarini pasaytiradi hamda mavjud infratuzilmadan foydalanish samaradorligini to'liq ta'minlamaydi.

Bundan tashqari, peregonlar bo'yicha harakat vaqtlarining keskin farqlanishi poyezdlarni razyezd va stansiyalarda uzoqroq kutib turishiga olib keladi. Bu holat nafaqat uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini cheklaydi, balki poyezdlar harakatining barqarorligiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu poyezdlarni to'xtatmasdan kesishish texnologiyasini qo'llash mavjud infratuzilmadan samarali foydalanishning muhim omillaridan biri hisoblanadi.



Bir yo'lli temir yo'l uchastkasining mavjud o'tkazuvchanlik qobiliyati quyidagicha topiladi

$$N_{mav} = \frac{(1440 - t_{tex}) \cdot \alpha_{mus}}{T_{davr}}, \quad (8)$$

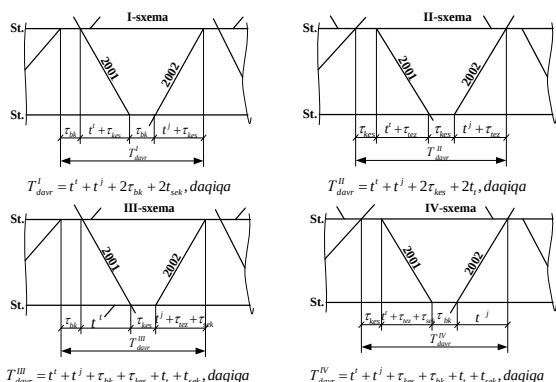
bunda: t_{tex} – texnologik “okno” davomiyligi (aloqa va SMB qurilmalari, yo'l inshootlari va boshqa qurilmalarni joriy ta'mirlash): 1 yo'lli uchastkalar uchun $t_{tex}=60$ daqiqa;

α_{mus} – aloqa va SMB qurilmalari, yo'l inshootlari va boshqa qurilmalarning mustahkamlik koeffitsiyenti: elektrovozli tortuvda 0,93; teplovozli tortuvda 0,90;

T_{davr} – grafik davri (uchastkaning o'tkazish qobiliyatini chegaralaydigan peregon uchun hisoblanadi), daqiqa,

(8) formuladagi T_{davr} qiymatini poyezdlarni kesishitish 4 ta sxemasidan eng minimali tanlanadi va uning qiymati qabul qilinadi.

Mavjud sharoitda poyezdlarni kesishish jarayonining samaradorligini baholash maqsadida real temir yo'l uchastkasi misolida kesishitish sxemalari tahlil qilindi (8-rasm). Tahlil jarayonida poyezdlarning razyedga kirishi, kesishishi hamda peregonlar bo'yicha harakatlanish vaqtlari inobatga olindi. Shuningdek, mavjud texnologik sharoitda poyezdlarning tezlanish va sekinlanish jarayonlari uchastkaning umumiy o'tkazuvchanlik qobiliyatiga qanday ta'sir ko'rsatishi baholandi.



8-rasm. Bir yo'lli uchastkalarda poyezdlarni razyedlarda kesishish sxemalari

Hisoblashlarda mavjud holatdagi tezlanish va sekinlanish vaqtlarining qiymatlari mos ravishda 3 va 2 daqiqa qilib qabul qilindi. Bundan tashqari, poyezdlarning kesishish nuqtasiga bir vaqtda yetib kelmasligi hamda kesishish intervali qiymatlari ham mos ravishda 3 va 2 daqiqa deb belgilandi. Mazkur parametrlar poyezdlar harakati xavfsizligini ta'minlash va mavjud ekspluatatsion sharoitlarni real holatda aks ettirish maqsadida tanlandi.

Bir yo'lli Buxoro-1 – Miskin temir yo'l uchastkasida Turon – Miskin peregonining harakatlanish vaqti eng katta bo'lishiga qaramasdan, ushbu peregon blok-post orqali ikki qismga ajratilgan. Natijada peregonning band bo'lish vaqti qisqartirilgan hamda uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga erishilgan. Shu sababli mazkur peregon hisoblashlarda eng og'ir peregon sifatida qabul qilinmadi.

Bir yo'lli Buxoro-1 – Miskin uchastkasining o'tkazuvchanlik qobiliyatini baholashda eng og'ir peregon sifatida Xizirbobo – Jayxun peregoni tanlandi. Ushbu peregon poyezdlar harakatlanish vaqti, kesishish sharoitlari hamda mavjud texnologik parametrlar inobatga olingan holda 4 ta turli sxema bo'yicha hisoblash ishlari amalga oshirildi. Hisoblash natijalari asosida turli kesishish sxemalarining uchastka o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ta'siri baholanib, olingan natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Bir yo'lli Buxoro-1 – Miskin uchastkaning chegaralaydigan peregoni uchun grafik davrini hisoblash natijalari

T/r	Texnologik amallar, daqiqa	I sxema	II sxema	III sxema	IV sxema
	t_{juft}	52	52	52	52
	t_{toq}	52	52	52	52
	t_{tez}	3	3	3	3
	t_{sek}	2	2	2	2
	t_{bk}	3	3	3	3
	t_{kes}	2	2	2	2
	T_{davr}	114	114	114	114

1-jadval natijalaridan ko'rinib turibdiki poyezdlarni bir yo'lli peregonida kesishitirishning minimal davomiylik davri barcha sxemalar bo'yicha bir xil, $T_{davr}=114$ daqiqani tashkil etdi.

Endi mavjud o'tkazuvchanlik qobiliyatini hisoblaymiz:

$$N_{mav}^{dastlab} = \frac{(1440 - 60) \cdot 0,93}{114} = 11,26 \approx 11 \text{ juft poyezd.}$$

Poyezdlarni to'xtatmasdan kesishitirishda esa tezlikning pasayishi hisobiga 1 daqiqa qo'shimcha vaqt qabul qilamiz va o'tkazuvchanlik qobiliyatini hisoblaymiz:

$$N_{mav}^{keyin} = \frac{(1440 - 60) \cdot 0,93}{105} = 12,23 \approx 12 \text{ juft poyezd.}$$

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, poyezdlarni to'xtatmasdan kesishish texnologiyasini joriy etish orqali uchastkaning o'tkazuvchanlik qobiliyati sezilarli darajada oshadi. Xususan, mavjud sharoitda o'tkazuvchanlik qobiliyati 11 juft poyezdni tashkil etgan bo'lsa, taklif etilgan texnologiya asosida bu ko'rsatkich 12 juft poyezdgacha oshadi.

Bu esa o'tkazuvchanlik qobiliyatining qariyb 10 foizga ortishini anglatadi. Natijada poyezdlar harakatining uzluksizligi ta'minlanadi, kutish vaqtlarining qisqarishi kuzatiladi hamda temir yo'l uchastkasidan foydalanish samaradorligi oshadi.

4. Xulosa

Mazkur tadqiqotda bir yo'lli temir yo'l uchastkalarida poyezdlar harakatini tashkil etishning samaradorligini oshirish maqsadida poyezdlarni to'xtatmasdan kesishish texnologiyasini joriy etishning nazariy va amaliy jihatlarini o'rganildi. Tadqiqot davomida razyedlarning zaruriy



uzunligini aniqlash bo'yicha hisobiy yondashuv ishlab chiqilib, poyezd uzunligi, yon yo'lga kirish tezligi, asosiy yo'ldan o'tish tezligi, tormoz yo'li uzunligi hamda poyezdlarning kesishish nuqtasiga yetib kelishidagi vaqt farqi kabi asosiy ekspluatatsion omillar kompleks tarzda hisobga olindi.

Shuningdek, poyezdlarni to'xtamasdan kesishish jarayonining sxematik modeli ishlab chiqilib, kesishish uchstaklarining joylashuvi va ularning geometrik parametrlariga qo'yiladigan talablar asoslandi. Mavjud razyezdlarni qayta qurish sxemalari tahlil qilinib, to'xtamasdan kesishish texnologiyasini amaliyotga joriy etishning konstruktiv yechimlari taklif etildi.

Buxoro-1 – Miskin temir yo'l uchstakasi misolida olib borilgan tahlillar peregonlar uzunligi va poyezdlar harakat vaqtlari notekis taqsimlanganligini ko'rsatdi. Ushbu holat poyezdlar kesishish jarayonida qo'shimcha kutish vaqtlarining yuzaga kelishiga va natijada uchstakaning o'tkazuvchanlik qobiliyatining cheklanishiga olib keladi. Mavjud sharoitda uchstakaning o'tkazuvchanlik qobiliyati 11 juft poyezdni tashkil etishi aniqlandi.

Taklif etilgan poyezdlarni to'xtamasdan kesishish texnologiyasini joriy etish natijasida kesishish jarayonidagi ortiqcha to'xtashlar bartaraf etilib, poyezdlar harakatining uzluksizligi ta'minlanadi. Hisoblash natijalariga ko'ra, ushbu texnologiyani qo'llash orqali uchstakaning o'tkazuvchanlik qobiliyati 12 juft poyezdgacha oshadi, bu esa taxminan 10 foiz o'sishni tashkil etadi.

Bundan tashqari, mazkur texnologiyani joriy etish lokomotivlarning yoqilg'i yoki elektroenergiya sarfini kamaytirish, harakat tarkibining eskirish darajasini pasaytirish hamda yuklarni yetkazib berish muddatlarini qisqartirish imkonini beradi. Shu bilan birga, razyezdlarni optimal uzunlikda loyihalash yoki qayta qurish orqali mavjud infratuzilma sharoitida katta kapital qo'yilmalarsiz ham samaradorlikka erishish mumkinligi asoslab berildi.

Olingan natijalar bir yo'lli temir yo'l uchstakalarida harakatni tashkil etishni takomillashtirish, kesishish jarayonlarini optimallashtirish hamda ularning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Хусенов У.У., Суюнбаев Ш.М. Энергоэффективная методика скрещения поездов на однопутных железнодорожных участках // Научный журнал транспортных средств и дорог. – 2025. – №1. – С. 85-97.
- [2] Khusenov U., Masharipov M., Suyunbayev Sh., Toychiyev J. Methods to increase the throughput and carrying capacity of the “Angren–Pop” railway section in line with expected transit freight flows from the “China–Uzbekistan–Kyrgyzstan” railway project // Mathematical Models in Engineering. – 2025. – Vol. 11, Issue 4. – P. 187–203. <https://doi.org/10.21595/mme.2025.25567>
- [3] Amit I., Goldfarb D. The timetable problem for railways // Developments in Operations Research. – 1971. –

Vol. 2, №1. – P. 379-387. <https://www.jstor.org/stable/3007955>

[4] Yang L., Li K., Gao Z. Optimizing trains movement on a railway network // Omega. – 2012. – №40(5). – P. 619-633. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.12.001>

[5] Xu X., Li K., Yang L., Ye J. Balanced train timetabling on a single-line railway with optimized velocity // Applied Mathematical Modelling. – 2014. – №38(3). – P. 894-909. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.07.023>

[6] Dorfman M., Medanic J. Scheduling trains on a railway network using a discrete event model of railway traffic // Transportation Research Part B: Methodological. – 2004. – №38(1). – P. 81-98. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00006-7)

[7] Higgins A., Kozan E., Ferreira L. Optimal scheduling of trains on a single line track // Transportation Research Part B: Methodological. 1996. – Vol. 30, №2. P. 147-161. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00022-4](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00022-4)

[8] International Union of Railways (UIC). Capacity of Railways // UIC Code 406. – Paris, 2013. – URL: https://uic.org/IMG/pdf/capacity_leaflet406.pdf

[9] Pachel J. Railway Operation and Control. – 2nd ed. – Berlin: Springer, 2009. – 356 p. – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-70534-9>

[10] Szpigel B. Optimal train scheduling on a single line railway // Transportation Science. – 1973. – Vol. 7, №3. – P. 344–351. <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.7.3.344>.

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

Xusenov O'tkir O'tkamjon o'g'li / Utkir Khusenov	Toshkent davlat transport universiteti “Temir yo'ldan foydalanish ishlarini boshqarish” kafedrası dotsenti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, (PhD) dotsent E-mail: otkirkhusenov@mail.ru Tel.: +998 94 122 66 44 https://orcid.org/0009-0003-0655-0448
--	---

Baqoyev Alisher Tel'mon o'g'li / Alisher Bakoev	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/0009-0003-0655-0448
---	---

Baxtiyorov Musaho'ja Baxodir o'g'li / Musakhuja Bakhtiyorov	Toshkent davlat transport universiteti “Temir yo'ldan foydalanish ishlarini boshqarish” kafedrası magistranti E-mail: musakhuja@gmail.com Tel.: +998 97 761 37 77 https://orcid.org/0009-0003-0655-0448
---	---



Optimization of the response time of microprocessor-based protection devices in phase-sensitive railway track circuits

E.K. Ametova¹^a, J.B. Kudratov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

Phase sensitive track circuits are very critical in the railway automation system and rely on the quick protection of track transformers against overload and short circuit faults. The traditional electromechanical circuit breakers (AVM-1, AVM-2) have large mechanical inertia, which results in slower fault isolation. In this paper, an optimized protection device (AVM-MP) based on a microprocessor is presented that overcomes the drawbacks of traditional mechanical protection devices and the preliminary digital prototypes. The first microprocessor designs incorporated the Hall-effect sensor to suit the ACS712, but were found to have several disadvantages: 5V to 3.3V logic level incompatibility, increased noise and limited bandwidth of 80 kHz. In response, the proposed architecture has an advanced ACS724 sensor that is easily compatible with the 3.3V logic of the dual-core ESP-32 microcontroller. The optimized system, which includes a dynamic current-derivative (di/dt) fault detection algorithm, provides a bandwidth of 120 kHz and removes voltage-divider noise. Results from the experimental test and simulation using virtual show that the response time of the sensor is decreased to less than 4 μ s, which makes it possible to detect and isolate any transient faults early (under 1.2ms). This quick response time also helps to avoid thermal damage to the transformer windings, significantly extending the operational lifespan and safety of the railway signaling system.

Keywords:

Phase-sensitive track circuits, microprocessor protection, Hall-effect sensor, ACS724, fault detection, time-current characteristic, predictive maintenance, IIoT, Railway automation

1. Introduction

Reliability of signaling, centralization of signaling, and blocking (SCB) systems is fundamental in the absolute safety and uninterrupted operation of railway rolling stock [1]. Now 64% of stations inside the infrastructure are equipped with a control system, either electrical interlocking (EC) or route-relay interlocking (RRI). Phase-sensitive track circuits therefore carry out the critical function of on-going train tracking and monitoring of whether or not a block section is vacant within the infrastructure. These phase-sensitive circuits are tied to the track transformers and their operational stability is a crucial factor in the operational stability of the circuits [2, 3]. In railway distribution networks, however, there are often severe electromagnetic transients and short circuits that cause rapid degradation of the transformer insulation and create critical train schedule disruptions [4]. According to the statistical analysis, the protection of track transformers from such overloads has been traditionally provided by electromechanical circuit breakers with bimetallic thermal elements such as AVM-1 and AVM-2 series introduced in the 1980s [5]. These are commonly used but, due to their mechanical inertia, their trip time during high current transients is as much as 100-150 ms which means that the initial short circuit (SC) shock is not being protected against by these devices. In view of these new deficiencies, recent research work strongly recommends the modernization of railway automation based on the use of microprocessor-based control. From the experience of countries with a more sophisticated railway transport, the ESP32 dual-core microcontroller with Industrial Internet of Things (IIoT) capability is being extensively employed as an extremely effective tool for such duties [6, 7]. Previous research in the field of basic protection of railway automation has suggested the

conceptual design of an intelligent microprocessor-based protection device [8]. Use of Hall-effect sensors in conjunction with microcontroller is highly recommended on Uzbekistan Railways, especially in 25 Hz phase-sensitive track circuits with DSSH-13/16 relays, for fast measurement of track circuit currents, and for fast selective protection of track transformers. In the first attempts to digitize AVM systems, the standard sensors were used in the system design [9,10]. This method did not require any mechanical moving parts, but on the hardware side there were serious bottle necks. The main problem is that the ACS712 sensor needs to be powered with 5V, while modern microcontrollers require 3.3V. This discrepancy is compensated with resistive voltage dividers which add a great deal of noise and distortion to the system readings by the Analog-to-Digital Converter (ADC). In addition, it was noted that the sensor is sensitive to the magnetic noise from the railway, which leads to errors in the current measurements obtained [11]. In practice, this technological gap is addressed in the authors' prior work on real-time monitoring of track transformers and further solidifies the positive results of this. This paper presents an optimized design of AVM-MP based on the advanced, 3.3V compatible sensor, which is used in the latest automotive industry and has gained the AEC-Q100 quality certification [9,12]. The primary goal of this study is to make a comparative analysis of the dynamics of the sensors, and to show that the 1st level of the proposed 2-level protection algorithm, i.e., the dynamic di/dt condition, can intelligently activate the protection mechanism and isolate the short circuit at its most incipient stage (less than 1 ms).

^a <https://orcid.org/0000-0003-0872-3599>

^b <https://orcid.org/0009-0005-3573-9811>



2. Research methodology

Scientists of Tashkent State Transport University-A. Azizov, E. Ametova, J. Kudratov prepared a preliminary prototype of the protection device with an intelligent microprocessor control based on the new two-level protection model. The prototype was going to be built around the ESP32-WROOM-32 dual core microcontroller as its logical base or “brain”. One of the microcontrollers distinguished by its high clock frequency (240 MHz), which renders an ability to perform the real time analysis of ultra fast transient processes in phase-sensitive track circuits, also called PSTC [13].

But there were several issues in the first prototype that prevented it from accurately measuring the current value in the PSTC and quickly sending it to logical analysis through the ADC. The sensor used in the measuring unit, ACS712, was much more convenient than the already available AVM-2 sensor devices and offered the possibility of easy integration into digital systems. However, steady magnetic interference from the railway prevented the accurate measurement of the current and its speedy transfer to the logical analysis unit of the device. This resulted in the triggering of the 1st level (short circuit) protection being delayed.

The first phase of the methodology is to change the functionally obsolete ACS712 current sensor to the ACS724 current sensor with higher technical parameters. The ACS724 sensor has been tested to the international standard AEC-Q100 that ensures high reliability under high levels of electromagnetic interference and mechanical vibrations common to the railway environment [14, 15]. The primary benefit of the ACS724 from a methodological point of view is that it runs at a 3.3V logic level. This enabled it to be connected directly to the analog-to-digital converter (ADC) of the ESP32 microcontroller without the need for extra noise generating resistor voltage dividers. In such a configuration, measurement errors are minimized and it also yields a very high bandwidth of up to 120 kHz, which is useful to capture the high frequency harmonics of the fault current with a high degree of accuracy [16].

2.2. Synthesis of the Two-Level Digital Protection Algorithm.

The effective protection of the track transformer is carried out according to the two-step logical condition of the method. This algorithm has been developed in particular to separate normal operational noise (e.g. inrush currents) from actual fault events. Level 1: Dynamic analysis of the position di/dt . In this stage, instead of the actual magnitude of current, the system computes the change of current with time (its derivative). When $(di/dt) > (di/dt)_{kr}$, the algorithm will dynamically sense the beginning of a short circuit and send a disconnect signal in less than 1ms [17]. Note the following level 2 digital filtering and thermal monitoring. The exponential moving average (EMA) methodology was used to analyse the temporary overloads that occur naturally during train movement and is given by (1):

$$I_f[k] = \alpha \cdot I_{raw}[k] + (1 - \alpha) \cdot I_f[k - 1] \quad (1)$$

In this expression, $\alpha = 1 - e^{-\Delta t/\tau}$ is the smoothing coefficient and $I_f[k]$ and $I_f[k-1]$ are the noise-cleared signals at the steps k and $k-1$ respectively, while $I_{raw}[k]$ is the raw signal acquired from the sensor [18].

$$\frac{di}{dt} \approx \frac{I_f[k] - I_f[k - 1]}{\Delta t} \quad (2)$$

Using the above formula (2), we obtain the equality of a change of current in the case of determining the digital state of the track transformers [19]. In this equation, Δt given in the denominator represents the sampling period, which is the time interval between two consecutive steps (3).

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{10000 \text{ Hz}} = 0.0001 \text{ s} = 0.1 \text{ ms} \quad (3)$$

2.3. A conceptual model of the AVM-MP.

Device was created in order to show the logic of the system in operation. This model covers the entire signal flow from the sensor to the Analog-to-Digital Converter (ADC) to the microcontroller's dual core processor for analysis, and finally to execution through a Solid State Relay (SSR). Moreover, in the context of this conceptual model, the methodology proposes to collect the data stream and automatically transfer it to the Signaling Dispatcher (ARM-ShD) in real time through IIoT technologies (Figure 1).

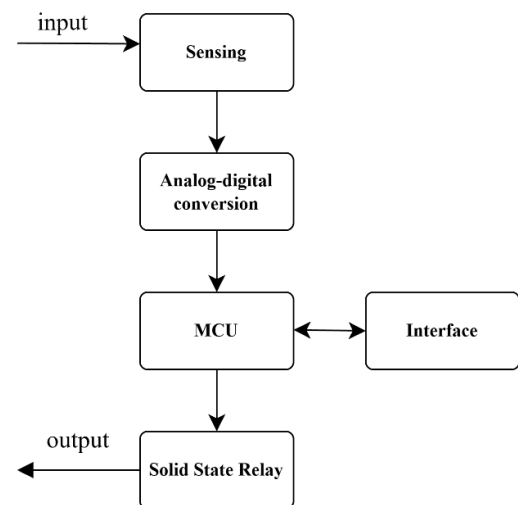


Fig. 1. Simplified conceptual model and signal flow block diagram of the AVM-MP system

3. Results and Discussion

3.1. Current Sensing Devices and Comparative Analysis of Current Sensing Technologies and Protection Devices.

The sensors' dynamic response and measurement accuracy is a key factor in rapid fault detection. Analyses conducted showed that the use of the resistive voltage divider as a connection method of the ACS712 sensor to the modern ESP32 microcontroller, which was used in the first prototypes, has a significant impact on the deterioration of the signal-to-noise ratio (SNR) [20]. The optimized AVM-MP system, on the other hand, connects the ACS724 sensor directly with ESP32 at the native 3.3V logic level with maximum signal integrity [21]. In addition, it was demonstrated that the wider bandwidth of the ACS724 sensor up to 120kHz is necessary to collect the high frequency transient components of short circuits (SC) in phase-sensitive track circuits [22].

3.2. Dynamic Time-Current Characteristics Analysis of the 2-Level Protection Algorithm.

The proposed two-level digital protection algorithm performance and reliability were tested by virtually modelling zero-impedance short circuit conditions. The analyses show that there is a need to extend the protection to



ultra-fast protection for short circuit. The proposed AVM-MP intelligent protection device was analyzed in the tripping processes under various fault conditions.

The current-time dependence graph during the activation of 1st level protection of the traditional electromechanical AVM-2 and the proposed microprocessor based AVM-MP protection is shown in Figure 2 under a zero-impedance short-circuit (SC) condition. During this ultra fast transient process, the current is much higher than the nominal value. The graph shows the points k and $(k-1)$, which are the discrete digital samples taken by the microcontroller of the continuous signal. The system is designed to analyze the growth gradient at the current ($I[k]$) and previous ($I[k-1]$) measurement point across a time interval Δt to determine the current growth gradient (di/dt) [23]. If this difference is greater than the threshold, the algorithm will detect the SC at the earliest stage and sends the trip command (TRIP-1)

immediately in 0.8–1.2 ms. The mechanical inertia of the traditional bimetallic element introduces a delay in the trip time of 100–150ms, while the reaction of the AVM-MP is only 1ms which fully eliminates the possibility of thermal degradation of the transformer windings.

The system response to an overload regime is shown in picture 3 as the activation graph of the 2nd level protection. The current surge is not high enough to set the 1st level protection when train movement starts or when the transformer is loaded with excessive loads for a prolonged period of time. In this case, the algorithm will be continuously adding the current values at each discrete point k based on an exponential moving average (EMA) filter. The following graph illustrates that, when the present magnitude is greater than the set thermal limit I_{kr} t is the time period when and remains for some amount of time limit.



Fig. 2. Time-current characteristic graph of the 1st level protection activation



Fig. 3. Time-current characteristic graph of the 1st level protection activation

The system performs a 2nd level trip (TRIP-2) to avoid thermal degradation of the transformer.

3.3. Integral Indicators and Multi-Dimensional Comparison.

A multi-dimensional qualitative and quantitative analysis was used to comprehensively assess the operational efficiency of current AVM-2 and the proposed AVM-MP devices [24,25]. The traditional AVM-2 device can't change the nominal current 5 A and has a fixed trip limit of 7 A, whereas the AVM-MP system offers real-time software adjustable nominal current and trip limit (0 - 50 A).

The radar chart analysis was conducted using integral evaluation criteria (thermal endurance, SC trip speed, current range, 2.1 kV galvanic isolation and the presence of a digital monitoring). The qualitative indicators used were awarded a higher point by the intelligent AVM-MP device than by the legacy AVM-2, with an average of 9.2 points compared to 2.5 points for the legacy AVM-2, thus proving its absolute technological and operational superiority picture 4.

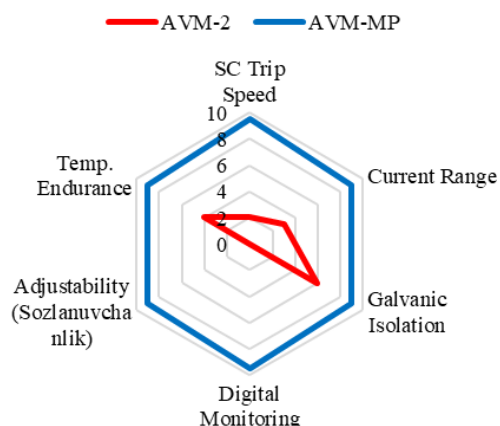


Fig. 4. Radar chart analysis of the quality indicators for the traditional AVM-2 and the proposed AVM-MP devices

3.4 Analysis of Operational Stability and Information Integration

Under the research scope, the sensitivity of the traditional protection device and the proposed protection device to the ambient temperature were compared. The Bimetallic strips used in the devices AVM-2 are degraded in extreme climatic conditions in Uzbekistan, where during the summer period the temperature in railway relay cabinets often exceeds +50°C, which affects their physical and mechanical properties. This degradation consequently results in device failure and in high number of unprovoked false trips within the system. In contrast, the solid-state design of the AVM-MP based on the AEC-Q100 qualified sensors and ESP32 microcontroller is completely immune to thermal ambient changes. It is absolutely stable over a wide range of temperature from -40°C to +85°C and is suitable for severe climatic operations. In addition, the system's intellectual ability is greatly enhanced with the incorporation of Industrial Internet of Things (IIoT) innovations. The AVM-MP device not only cuts the electrical circuit, but also has the ability to transfer the monitoring data in real-time to the Automated Workstation of the Signaling Dispatcher (ARM-ShD) and store one month of monitoring data in its internal memory. This diagnostic feature will enable detecting hidden defects in the infrastructure at an early stage of their life before they become critical, laying a solid basis for the implementation of predictive maintenance in the railway automation network as a whole.

4. Conclusion

Based on the study, an intelligent microprocessor-based protection device (AVM-MP) was successfully developed and theoretically validated to replace the existing electromechanical AVM-2 circuit breakers in railway phase sensitive track circuits. For the first time the critical 3.3V logic-mismatch problems of previous prototypes were overcome by making the transition to the AEC-Q100 certified ACS724 sensor, which enabled reliable measurement bandwidth expansion to 120 kHz and hardware response time was reduced to less than 4 μ s. A novel two-level digital protection algorithm was implemented: dynamic $\$di/dt\$$ for instantaneous short-circuit protection and an Exponential Moving Average (EMA) filter for sustained overloads, and this was extremely successful. Virtual simulation results were also obtained showing that the AVM-MP can detect and isolate zero impedance faults in less than 0.8–1.2 ms, which is much faster than the detect and isolate time of a traditional bimetallic system of 100–150 ms. This fast fault clearing action prevents a thermal degradation of the track transformer windings and thus significantly enhances the reliability and safety of the signaling system as a whole. Moreover, the integration of IIoT capabilities enables real-time data transmission to the centralized Automated Workstation of the Signaling Dispatcher (AW-SD), facilitating predictive maintenance and substantially reducing both operational and lifecycle costs.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Сапожников В. В. Надежность и диагностика систем железнодорожной автоматики и телемеханики /

В. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб. : Лань, 2016. – 416 с.

[2] Арипов Н. М. Особенности построения систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Н. М. Арипов, Э. К. Аметова // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 134. – С. 175-180.

[3] Theeg G. Railway Signalling & Interlocking: International Compendium / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg : Eurailpress, 2009. – 448 p.

[4] Azizov A. R. Modernization of railway signaling devices and implementation of microprocessor technologies / A. R. Azizov, A. N. Sadikov // Journal of Transport and Engineering. – 2017. – Vol. 5, № 2. – P. 112-118.

[5] ОАО «РЖД». Техничко-нормировочная карта № ТНҚ-ЦШ 0281-2015 "Автоматический выключатель тока многократного действия АВМ-2". – М., 2015. – 12 с.

[6] Хокимжонов М. Ю. Моделирование системы автоматической сигнализации и пути ее энергоэффективности / М. Ю. Хокимжонов, Б. Б. Рахмонов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – 2021. – № 1. – С. 120-134.

[7] Singh P. K. Thermal degradation analysis of transformers under short-circuit and transient overload conditions / P. K. Singh [et al.] // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2018. – Vol. 33, № 4. – P. 1920-1929.

[8] Бойханов З. У. Системы управления реактивной мощностью и коммутационными аппаратами в промышленных сетях / З. У. Бойханов, М. Т. Махсудов // International Journal of Advanced Engineering. – 2020. – Т. 8. – С. 45-51.

[9] Аметова Э. К. Интеллектуальное микропроцессорное устройство защиты путевых трансформаторов в системах железнодорожной автоматики и оценка его технико-экономической эффективности / Э. К. Аметова, Ж. Б. Кудратов // Ilm-fan va Innovatsion Rivojlanish. – 2026. – Т. 9, № 2.

[10] Азизов А. С. Электр релели марказлаштириш тизимларида микропроцессорли бошқарув // ТДТру илимий ишлари тўплами. – Тошкент, 2023. – С. 88-94.

[11] Ramesh S. Industrial IoT based continuous monitoring system using ESP32 dual-core architecture / S. Ramesh, A. K. Singh // IEEE Internet of Things Journal. – 2020. – Vol. 7, № 5. – P. 3450-3458.

[12] Ivanov S. Signaling Cabinets Power Supply Modernization Using Buck-Boost Inverters // International Journal of Power Electronics. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 210-225.

[13] Tan H. High-voltage power protection systems based on Hall-effect sensors / H. Tan, L. Zhao // Sensors and Actuators A: Physical. – 2021. – Vol. 310. – P. 112-120.

[14] Allegro MicroSystems. ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC [Elektron manba]. – Murojaat qilish manzili: www.allegromicro.com. – Murojaat sanasi: 14.03.2025.

[15] Hossain M. F. Performance analysis of ACS712 current sensor in high-frequency switching environments // Journal of Electrical Engineering. – 2018. – Vol. 42, № 3. – P. 215-222.

[16] Allegro MicroSystems. ACS724: High-Accuracy, Hall-Effect-Based Current Sensor IC [Elektron manba]. – Murojaat qilish manzili: www.allegromicro.com. – Murojaat sanasi: 14.03.2025.

[17] Wang T. Comparative evaluation of wide-bandwidth Hall-effect sensors for transient fault detection /



T. Wang, C. Li // IEEE Sensors Journal. – 2019. – Vol. 19, № 11. – P. 4125-4133.

[18] Абдиев Р. Э. Совершенствование элементов систем управления с использованием логики дробного порядка [Elektron manba] // CyberLeninka Research Archive. – 2021.

[19] Курбанов Ж. Ф. Обеспечение селективности в электрических сетях с микропроцессорными расцепителями / Ж. Ф. Курбанов, С. Т. Болтаев // Сборник научных трудов eLibrary. – 2020. – С. 45-50.

[20] Осминин А. Т. Теория непрерывного потока данных в автоматизированных системах / А. Т. Осминин. – М. : Транспорт, 2011. – 245 с.

[21] Qudratov J. B. Yo'l transformatorlarini real vaqt rejimida monitoring qilish va himoyalashning mikroprotessorli tizimlari / J. B. Qudratov, A. S. Azizov // The Scientific Journal of Vehicles and Roads. – Toshkent, 2026. – № 2. – B. 148-155.

[22] Mahmudov M. A. Signal-to-noise ratio optimization in 3.3V embedded sensor networks // International Journal of Electronics. – 2020. – Vol. 106, № 8. – P. 1180-1195.

[23] Рогачева И. Л. Эксплуатация и надежность систем электрической централизации нового поколения / И. Л. Рогачева. – М. : Транспорт, 2006. – 180 с.

[24] Smith M. Railway Infrastructure Digitalization and Predictive Maintenance // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 22, № 3. – P. 1450-1462.

[25] Patel H. K. Overcoming ADC non-linearity and logic-level mismatches in low-voltage microcontrollers / H. K. Patel [et al.] // Sensors and Actuators A: Physical. – 2019. – Vol. 285. – P. 120-128.

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

Elnara Ametova Toshkent davlat transport universiteti "Avtomatika va telemexanika" kafedrasida dotsenti, t.f.f.d., (PhD).
E-mail: elnara.ametova.84@mail.ru
Tel.: +998909758882
<https://orcid.org/0000-0003-0872-3599>

Javohir Kudratov Toshkent davlat transport universiteti "Avtomatika va telemexanika" kafedrasida tayanch doktoranti
E-mail: esperanso2026@gmail.com
Tel.: +998944497799
<https://orcid.org/0009-0005-3573-9811>



Steps to improve the processes for issuing speed limit warnings

N.S. Tokhirov¹^a, M.D. Akhmedova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article examines the issues of improving data transmission systems in the process of organizing train operations in railway transport. The author analyzes existing communication and control systems, identifying their shortcomings and evaluating their efficiency. In particular, it is substantiated that fast, reliable, and continuous information exchange is a key factor in effective train operation management. The paper proposes new technological schemes for data transmission based on modern telecommunication technologies. These schemes demonstrate the possibilities of optimizing information exchange between stations, dispatching centers, and other system components. In addition, the ways to enhance system reliability, reduce the impact of the human factor, and improve the efficiency of operational management are discussed.

The research results contribute to increasing the overall efficiency of railway transport through the digitalization and automation of management processes and have significant practical importance for real-world applications.

Keywords:

railway transport, train operations, data transmission system, dispatching control, telecommunication, automation

Tezlikni cheklash ogohlantirishlarini berish jarayonlarini takomillashtirish bosqichlari

Toxirov N.S.¹^a, Axmedova M.D.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada temir yo'l transportida poyezdlar harakatini tashkil etish jarayonida tezlikni cheklash ogohlantirishlar haqidagi ma'lumotlar uzatish tizimlarini takomillashtirish haqida bayon qilingan. Tezlik cheklangan sharoitlarda mavjud aloqa va boshqaruv tizimlarining tahlillari, ularning kamchiliklari va samaradorlik darajasi baholangan. Xususan, poyezdlar harakatini boshqarish jarayonida tezkor, ishonchli va doimiy axborot almashinuvi muhim omil ekanligi asoslab berilgan.

Maqolada zamonaviy telekommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish asosida ma'lumotlar uzatishning yangi texnologik sxemalari taklif etilgan. Ushbu sxemalar orqali stansiyalar, dispetcherlik markazlari va boshqa tizim elementlari o'rtasida axborot almashinuvini optimallashtirish imkoniyatlari ko'rsatib o'tilgan.

Shuningdek, tizimning ishonchligini oshirish, inson omilining ta'sirini kamaytirish va operativ boshqaruv samaradorligini yaxshilash yo'llari yoritilgan.

Tadqiqot natijalari temir yo'l transportida boshqaruv jarayonlarini raqamlashtirish va avtomatlashtirish orqali umumiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi hamda amaliyotda qo'llash uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar:

temir yo'l transporti, poyezdlar harakati, ma'lumotlar uzatish tizimi, dispetcherlik boshqaruvi, telekommunikatsiya, avtomatlashtirish

1. Kirish

Jahon transport bozorida yuk va yo'lovchilarning harakat xavfsizligini ta'minlagan holda tashish jarayonlarini tashkil qilinishiga sarflanadigan vaqtni kamaytirish uchun talab keskin ortib bormoqda. Shu jihatdan, harakat tezligi cheklangan sharoitlarda vaqt yo'qotishlarini kamaytirish usullarini takomillashtirish, tezlikni chegaralash mavjudligi to'g'risidagi ogohlantirishlar bilan bog'liq ma'lumotlarning elektron aylanishini tashkil etish, zamonaviy axborot vositalaridan foydalangan holda ularni qayta ishlash jarayonlarini qisqartirish, shu orqali uzatilayotgan ma'lumotlarning sifat darajasini oshirish masalalari alohida

ahamiyatga egadir. Dunyo miqyosida, "... raqamli temir yo'l bozori 11,2% yillik o'sish sur'ati bilan 2029-yilda 90,83 milliard dollarga yetishini..." hisobga olsak, ushbu tendensiya tashish jarayonlarini boshqarish uchun yanada samaraliroq va tejamkor yechimlarga ehtiyojni ortib borishi bilan izohlanadi, bu esa o'z navbatida poyezdlar harakatini tashkil etishni raqamlashtirish zaruriyatiga olib keladi. Shu munosabat bilan tezlik cheklangan sharoitlarda ogohlantirishlar bilan bog'liq ma'lumotlarni qayta ishlash va ularni uzatish texnologik jarayonlarining modellarini ishlab chiqish masalalariga alohida e'tibor berilmoqda. Temir yo'l transportida tashish jarayonlarini xavfsizlik qoida va me'yorlari asosida tashkil qilish va poyezdlar harakatini

^a <https://orcid.org/0000-0003-1385-9263>



jadallashtirishda, aniqlangan nosozliklarni bartaraf etish ishlarida, ta'mirlash ishlari boshlanishidan oldin tegishli bo'limlarning dispetcherlari tomonidan ushbu ma'lumotlarni poyezd dispetcherlari, peregonni chegaralovchi stansiya navbatchilariga yetkazish tartibi "O'zbekiston Respublikasi temir yo'llarida poyezdlar harakati va manyovr ishlari bo'yicha yo'riqnoma"ning 12-bobi "Ogohlantirishlar berish tartibi" bo'limida keltirib o'tilgan. Aniqlangan nosozlikning turiga qarab poyezdlar harakatini davom ettirish yoki cheklash haqida oldindab habar berish lozimligi belgilangan. Poyezdlar harakatini cheklash ya'ni peregonni yopish uchun poyezd dispetcheri tomonidan beriladigan buyruq orqali amalga oshiriladi.

Agarda poyezdlar harakatini pasaytirilgan tezlikda davom ettirish imkoni mavjud bo'lsa, u holda harakat xavsizligi qoidalariga muvofiq ish jarayonlari tashkil qilinishi, ya'ni temir yo'l transporti tegishli xo'jaliklari tomonidan taqdim etiladigan talabnomalari asosida belgilangan tezlik miqdoridan oshmasligi, "O'zbekiston Respublikasi temir yo'llaridan texnikaviy foydalanish qoidalarini"ning 263-bandiga muvofiq, poyezdlarning harakat vaqti davomida lokomotiv brigadalarining alohida hushyorligini ta'minlash, ogohlantirish talab etilgan taqdirda poyezdlarga yozma ravishda DU-61 ogohlantirish blankasi topshirilishi va ushbu blankalar qaysi hollatlarda topshirilishi kerakligi bayon qilingan [110]. Ta'mirlash ishlari olib borayotgan ishchi xodimlarning xavsizligini ta'minlash maqsadida, poyezdlarning toifasiga qarab "O'zbekiston Respublikasi temir yo'llarida signalashtirish bo'yicha yo'riqnoma" talablariga muvofiq temir yo'lning ta'mirlanayotgan qismini to'sish signallari va ovoqli signal belgilari bilan ta'minlanishi kerakligi belgilab qo'yilgan.

"O'zbekiston Respublikasi temir yo'llarida poyezdlar harakati va manyovr ishlari bo'yicha yo'riqnoma"ning talablariga tezlikni cheklash haqidagi ogohlantirishlar uch turga ajratiladi:

a) belgilangan vaqtdan bekor qilinguncha amaldagi ogohlantirishlar, tegishli bo'lim rahbari ishlarni bajarish sharoitlariga ko'ra ish jarayonlari yakunlash vaqtini aniq aytib berolmagan hollarda;

b) ta'mirlash ishlari rahbari tomonidan belgilangan aniq muddat mobaynida amaldagi nosozliklar, keltirilgan muddat mobaynida tezlikni cheklash ogohlantirishlarini taqdim qilish uchun beriladigan talabnomasida keltiriladi;

v) ayrim toifadagi poyezdlarni o'tkazishning alohida holatlarida (poyezd ogohlantirishlar sababli cheklangan tezlikda harakatlanish imkoniyati bo'lmagan harakat tarkibining mavjudligi, poyezdlar harakati grafida belgilanmagan to'xtashlar tayinlanishi va rioya qilish zarurligida).

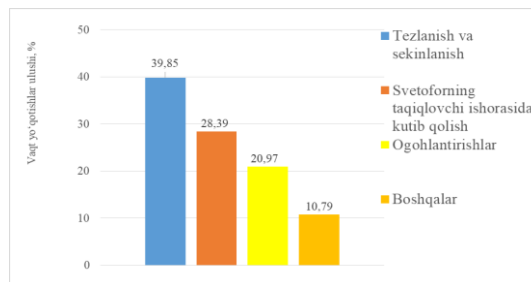
Ta'mirlash ishlari reja asosida ogohlantirishlarni berishga talabnomalarda keltirilgan telegrammalar (telefonogrammalar) aniq vaqt hisobi asosida jo'natilishi lozimki, tezlik cheklangan sharoitlarda ogohlantirish blankalarini temir yo'l uchastkasining nosozlik aniqlangan joyida harakatlanayotgan poyezd mashinistlariga yetkazish stansiya navbatchisi tomonidan ogohlantirishlarning boshlanish vaqtidan 3 soat oldin qabul ogohlantirish talabnomalarini qabul qilishi, poyezdlar harakati tig'iz hamda to'xtovsiz 3 soatdan ortiq harakatlanadigan yo'nalishlarda esa – "O'zbekiston temir yo'llari" AJ raisi tomonidan belgilangan muddatdan ilgari qabul qilinishi belgilab qo'yilgan. Poyezdlar harakati to'xtovsiz 3 soatdan ortiq harakatlanadigan uchastkalar uchun "O'zbekiston temir yo'llari" AJ raisining tegishli buyrug'i qabul qilinadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Poyezdlar harakatida tezlikni cheklash haqidagi ogohlantirishlari berilganda PHGda poyezdlarning rejadani tashqari tezlanish va sekinlanishlari bilan bog'liq vaqt sarfining ortishiga sabab bo'lmoqda. Tabiiyki poyezdlarning yo'ldagi harakat vaqtining ortishi, temir yo'lning uchastka va peregonlardagi harakatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Temir yo'l uchastkalarida tezlik cheklanganda, me'yoriy poyezdlar harakati grafida inobatga olinmagan qo'shimcha tezlanish va sekinlanish poyezdlarning temir yo'l uchastklarida kamaytirilgan tezlikda harakatlanishi poyezdlarning rejadani tashqari vaqt yo'qotishlari yuzaga keladi.

I.E. Timoshenko va V.N. Zubkovlarning tadqiqotlariga ko'ra, yuk poyezdlarining harakat grafida ko'rsatilgan vaqtlar bilan solishtirilganda yo'qotilgan vaqtlari tahlili shuni ko'rsatdiki, grafikda hisobga olinmagan tezlik cheklavlari va to'xtashlarga bog'liq yuk poyezdlarining tezlanishi va sekinlashuvi umumiy vaqt yo'qotishlarining 39,85% ni, yopiq svetoformlar oldidagi to'xtashlar 28,39% ni, tezlik cheklavlari bo'yicha ogohlantirishlar bo'lgan uchastkalarda sekin harakatlanishi esa 20,97% ni, boshqa omillar sababli esa 10,79% ni tashkil etadi [106]. Tahlillardan ko'rish mumkinki, vaqtinchalik tezlik cheklavlari sababli yo'qotilgan vaqtlar orasida uchinchi o'rinda turadi. Ammo, kirish svetaforining taqilovchi ishorasida turib qolishi va poyezdlarning nosozlik sababli sekin harakatlanishi natijasida temir yo'l uchastkalarida poyezdlar orasidagi interval vaqtini oshishi uchastkada o'tkazuvchanlik qobiliyatining pasayishi yuzaga kelishi mumkin. Vaqt yo'qotishlarining taqsimoti 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Poyezdlarning umumiy vaqt yo'qotishlari tavsifi

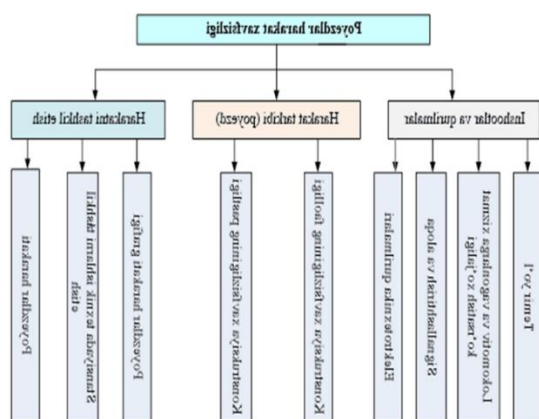
Yurtimizda ham bir qator olimlar temir yo'l transportida tezlik cheklangan sharoitlarda vaqt yo'qotishlarni kamaytirish usullarini takomillashtirish, yuk va yo'lovchilarning tashish ko'rsatkichlarini oshirish hamda poyezdlar harakat xavsizligini ta'minlashga qaratilgan tadqiqotlarni olib borganlar.

Yurtimizda ham bir qator olimlar temir yo'l transportida tezlik cheklangan sharoitlarda vaqt yo'qotishlarni kamaytirish usullarini takomillashtirish, yuk va yo'lovchilarning tashish ko'rsatkichlarini oshirish hamda poyezdlar harakat xavsizligini ta'minlashga qaratilgan tadqiqotlarni olib borganlar.

Baratov D.X. [5] tadqiqot ishida texnik xujjatlarining elektron xujjat aylanishi tizimi, temir yo'l avtomatika va telemexanikasi qurilmalarini hisobga olish va nazorat qilish uchun algoritmlar formal va mantiqiy sxemalarining sintezi asosida takomillashtirilgan. Ammo elektron xujjat aylanishida vaqt sarflari inobatga olinmagan.

3. Natija va muhokamalar

Tezlikni cheklash haqidagi ogohlantirish blankalarini poyezd mashinistlariga uzatish hamda bekor qilish jarayonining mavjud tizimi asosida tashish jarayonida poyezdlar harakat xavfsizligiga texnik vositalarining holati, harakat xavfsizligini ta'minlash hamda ishlab chiqarish korxonalari (signalizatsiya markazlashtirish va blokirovka (SMB), elektr tarmoqlari, yo'l va yo'l xo'jaligi va boshqalar) kesimida (2-rasm) natijalari o'rganildi.

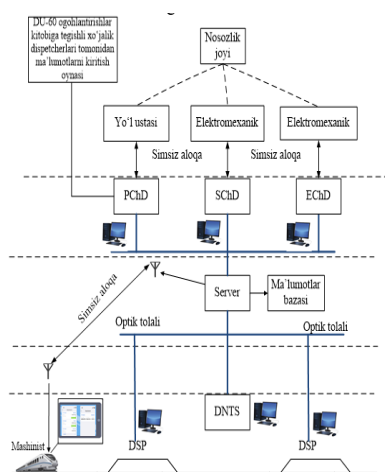


2-rasm. Poyezdlar harakati xavfsizligini ta'minlash parametrlari

Poyezdlar harakatini tashkil qilish jarayonida, taklif etilayotgan ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi nosozlik aniqlangan joydan poyezd mashinistiga va boshqa harakat ishtirokchilariga yetib borish ketma-ketligi vaqt sarfi va ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonlarini kamaytirish imkonini beradi.

Taklif etilayotgan tizim mavjud amaldagi tizim bilan bir vaqtda foydalanish mumkinligini inobatga olib, tizim ish jarayonida nosozlik aniqlangan taqdirda bir-birini to'ldirish xususiyatini ham o'zida mujassam etgan [1-4].

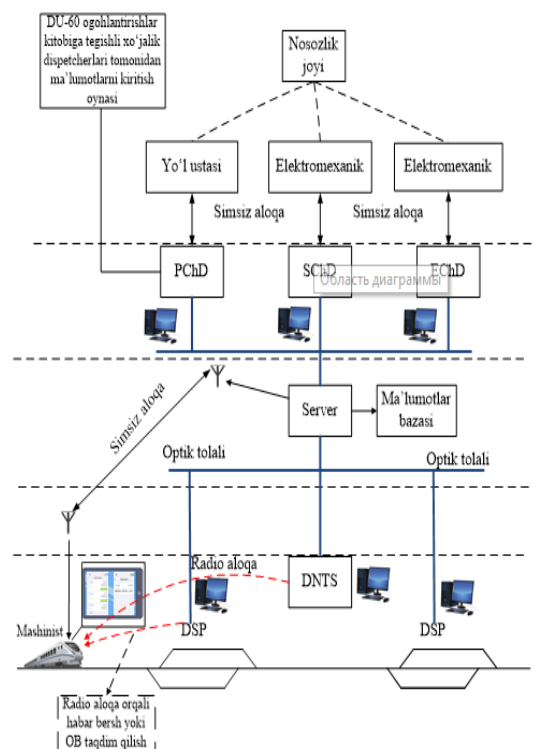
Poyezdlarga ogohlantirishlarni berish va bekor qilishning avtomatlashtirilgan tizimi topologik sxemasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. OBATda ma'lumotlar uzatishning topologik sxemasi

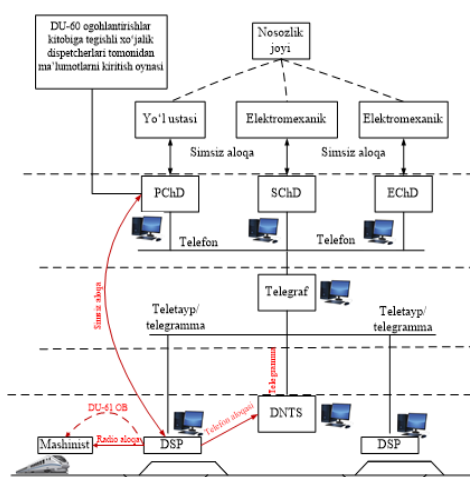
Taklif etilayotgan tizim poyezd mashinistiga uzatishda mobil internetdan foydalanilganligi sababli internet bilan bog'liq muammolar kuzatilganda ma'lumotlar poyezd

dispetcheri va stansiya navbatchilariga optik to'li aloqa tarmog'i orqali keladi, poyezd mashinistiga esa stansiya navbatchilari orqali radioaloqa yoki qog'oz shakildagi DU-61 ogohlantirish blankasi topshiriladi (4-rasm).



4-rasm. OBATda internet ishlamay qolganda ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi

Ma'lumotlarni uzatish jarayonini tahli qilish orqali taklif etilayotgan tizimning ishonchligini oshirish maqsadida, ogohlantirish blankalarini poyezd mashinistiga yetkazishda server (ma'lumotlar bazasi)da nosozliklarni aniqlanganda uzatish texnologiyasi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. OBATda server ishlamay qolganda ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi

Poyezdlar harakatini tezlik cheklangan sharoitlarda tashkil etishda axborot tizimlarining o'zaro hamkorlik tizimini murakkabligi ogohlantirishlarni qabul qiluvchilar va yuboruvchilar bilan o'zaro hamkorlik qilish hamda

O'zbekiston temir yo'llari axborot almashish uchun zamonaviy texnologiyalardan foydalanishni taqazo etadi.

Tahlillardan shuni xulosa qilish mumkinki, unumsiz yo'qotishlarni kamaytirish usullarini takomillashtirish maqsadida ogohlantirishlarni berish va bekor qilishning avtomatlashtirilgan tizimini topologik sxemasi va hujjatlar sifatini baholash usulini ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Temir yo'l uchastkalarida nosozliklar aniqlanganda poyezdlarga ogohlantirishlarni berish va bekor qilish bilan bog'liq texnologik amallarni avtomatlashtirish asosida ma'lumotlarning qayta ishlanish vaqti qisqarishini hisobga olib tashishlarni tashkil etishdagi vaqt yo'qotishlarini kamaytirish usuli takomillashtirilgan.

Natijada, tezlikni cheklash haqidagi xabarni tashishlarni tezkor tashkil etuvchi xodimlarga nosozliklar aniqlanganda

qisqa vaqtda yetib borishini ta'minlash hamda ogohlantirishlar kitobi va blankalarini to'ldirish, mashinistga topshirish jarayonlari avtomatlashtirilgan tizim orqali bajarilishi hisobiga poyezdlarning stansiyalarda ogohlantirish blankalarini kutib turib qolish vaqtlarini 6 daqiqaga kamaytirishga erishilgan.

Tashish hajmi yuqori bo'lgan temir yo'l uchastkalarida poyezdlarning tezlik cheklanganda poyezdlar harakatini barqaror tashkil etish uchun ogohlantirishlarni berish va bekor qilish tizimini kompyuter texnologiyalari asosida uzatish tizimni ishlab chiqishni taqazo etadi. Yuqoridagilarni hisobga olib Dunyoning rivojlangan davlatlarida poyezdlarga ogohlantirishlar berish tizimlarining tahlili 6-rasmda keltirilgan.

1-jadval

Poyezdlarga ogohlantirishlar berish tizimining taqqoslash tahlili

Amallar	ASU VOP-2, AS PRED (Rassiya, Belorusiya)	BETRA (Germaniya)	ERTMS (Yevropa)	OBAT (Taklif etilayotgan tizim)
Nosozlikni aniqlash va habar berish	1-3 daqiqa	1 daqiqagacha	1 daqiqagacha	1-3 daqiqa
Ro'yhatga olish kitobiga qayd qilish	1-3 daqiqa	1 daqiqagacha	1 daqiqagacha	1-3 daqiqa
Ma'lumotlarni tizimga kiritish va qayta ishlash	3-5 daqiqa	1 daqiqagacha	1 daqiqagacha	1-2 daqiqa
Elektron DU-60 kitobini shakllantirish	Qog'oz shaklda to'ldiriladi 8-10 daqiqa	-	-	1-2 daqiqa
Elektron DU-61 ogohlantirish blankasini shakllantirish	Qog'oz shaklda to'ldiriladi 5-7 daqiqa	2-3 daqiqa	2-3 daqiqa	2-3 daqiqa
DNTS, DSP, Mashinistlarga habarni jo'natish	10-12 daqiqa	1 daqiqagacha	1 daqiqagacha	2-3 daqiqa
Ma'lumotning qabul qilinanlik nazorati	Qog'oz variantga imzo qo'yish orqali	Mavjud	Mavjud	Mavjud
Ma'lumotlarning arxivi	DU-60 ogohlantirishlar kitobida	Mavjud ma'lumotlar bazasida	Mavjud ma'lumotlar bazasida	Mavjud ma'lumotlar bazasida
Tezlikka avtomatik ta'sir qilish	Yo'q, (bekor qilguncha belgilangan tezlik)	Bor, tizim avtomatik ravishda tezlikni cheklaydi	Bor, tizim avtomatik ravishda tezlikni cheklaydi	Yo'q, (bekor qilguncha belgilangan tezlik)
Inson omilining ta'siri	Yuqori (kasb malakasiga bog'liq)	(avtomatlashtirish darajasi past)	(avtomatlashtirish darajasi past)	Past



Umumiy vaqt	15-40 daqiqa	1-3 daqiqa	1-3 daqiqa	17-20 daqiqa
-------------	--------------	------------	------------	--------------

4. Xulosa

Tezlik cheklangan sharoitlarda poyezdlarga ogohlantirish ma'lumotlarini poyezd mashinistlari hamda jarayon ishtirokchilariga uzatishdagi muammolarni bartaraf etish uchun raqamli boshqaruv texnologiyalari, avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish zarurligi asoslab berildi. Shuningdek, aniqlangan nosozliklarning sabablarini tahlil qilish orqali ularni kamaytirish natijasida poyezdlar harakati grafigining bajarilishini, poyezdlar bilan bajariladigan texnologik amallarni avtomatlashtirish tashish jarayonlarida qaror qabul qilishda muxim omil hisoblanadi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, zamonaviy avtomatika va boshqaruv tizimlarini qo'llash poyezdlar harakat xavfsizligini ta'minlash bilan birga ekspluatatsion xarajatlarni kamaytiradi, inson omili bilan bog'liq xatolarni qisqartiradi va temir yo'l transportining umumiy samaradorligini oshiradi. Natijada shahar atrofi tashish tizimida harakat muntazamligi ta'minlanib, yo'lovchilar uchun qulay va xavfsiz transport muhiti yaratiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш., Тохиров Н.С., Ахмедова М.Д. Поездларга берилadigan ogohlantirishlarni участканинг ўтказиш қобилиятига таъсирини ўрганиш // Academic research in educational sciences. – 2021. Volume 2. 483-490 б.

[2] Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш., Тохиров Н.С. “Ўзбекистон темир йўллари” АЖда поездларга берилadigan ogohlantirishlarni avtomatlashtirilgan tizimining yaratish asosida поездлар ҳаракати хавфсизлигини ошириш чора тадбирлари // Фарғона политехника институти Илмий – теника журнали.– 2021. №4. 168-172 б.

[3] Мишарин А.С. Организация эффективного функционирования железнодорожного транспорта на основе современных информационных технологий. Автореф. дис. док. техн. наук. Екатеринбург. – 2005. – 52 с.

[4] К.В. Суружин. Влияние временных предупреждений об ограничении ходовых скоростей по состоянию пути на пропуск грузовых поездов / К.В. Суружин // Дисс. к.т.н., – М.: МИИТ, 2009 г. – 189 с.

[5] Baratov D.X. Temir yo'l avtomatika va telexanika qurilmalarini xujjatlashtirishning avtomatlashtirish vositalarini yaratish ilmiy asoslarini takamillashtirish: texnika fanlari doktori (DSc) ... dissertatsiya. – Toshkent: TTYMI, 2019. – 173 b.

[6] Weining Haoa , Lingyun Menga, Francesco Cormannb , Sihui Longa , Xi Jianga, “A train timetabling and stop planning optimization model with passenger demand”. 8 th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis - RailNorrköping 2019. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000368928>

[7] Ralf Borndörfer, Armin Fügenschuh, Torsten Klug, Thilo Schang, Thomas Schlechte, Hanno Schüllendorf The Freight Train Routing Problem // Angewandte Mathematik und Optimierung Schriftenreihe. – 2017. – №8. – pp – 1-14.

[8] Tokhirov N.S., Jumayev Sh.B., Toshtemirov I.M. Stages of improvement for the processes of issuing alerts to trains // Actual problems of modern science, education and training. Urganch. – 2024. №9 p. 45-52.

[9] Toxirov N.S. “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ da yo‘lovchi poyezdlariga beriladigan ogohlantirishlarni berishni avtomatlashtirishning tahlili // “Mashinasozlik” ilmiy xabarnomasi. – Andijon, 2019. – 104-107 b.

[10] Toxirov N.S., Improving the method for reducing unproductive losses in speed-limited conditions// The scientific journal vehicles and roads. – 2025. – №1. – 24-30 p.

[11] Valerio De Martinisa, Mariano Gallob. Models and methods to optimise train speed profiles with and without energy recovery systems: a suburban test case // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2013. – № 87. – 222-233 pp.

[12] Мугинштейн Л.А., Лохач А.В., Мерман И.И. и др. Метод постоянных перегонных скоростей для оценки энергозатрат на тягу поездов // Вестник ВНИИЖТ. – №4. – 2000. – С. 16-19.

[13] <https://uzrailpass.uz/>

[14] <https://gov.uz/oz/mintrans>

[15] https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/oepnv-deutschlandticket-auslastung-fahrgastzahlen-100.html?utm_source=chatgpt.com

[16] https://www.mccberlin.net/en/news/information/information-detail/article/49-euro-ticket-resulted-in-significant-modal-shift-from-road-to-rail.html?utm_source=chatgpt.com.

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

Toxirov Nosirjon Sobirjon o'g'li / Sobirjon Tokhirov Toshkent davlat transport universiteti “Temir yo‘ldan foydalanish ishlarini boshqarish” kafedrasida katta o‘qituvchi . t.f.f.d (PhD).

E-mail: nosirtohirov@gmail.com

Tel.: +99899 870 81 93

<https://orcid.org/0000-0003-1385-9263>

Axmedova Muslima Djalalovna / Muslima Akhmedova Toshkent davlat transport universiteti “Temir yo‘ldan foydalanish ishlarini boshqarish” kafedrasida dotsenti

E-mail: mdjalalovna@mail.ru

Tel.: +99894 039 16 99

<https://orcid.org/0009-0005-9880-2742>



Development of a mathematical model for assessing data quality based on a Bayesian network to justify the effectiveness of modern technologies in issuing alerts

N.S. Tokhirov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the improvement of the automated warning transmission system in railway transport, as well as issues related to increasing the reliability of data transmission processes and traffic safety. During the research, the processes of rapid delivery of warnings, processing of fault-related information, and monitoring in railway sections were analyzed. The article develops a mathematical model of the warning transmission system based on Bayesian networks and proposes effective methods for managing information flows. In addition, the structural architecture of the automated system, its technological processes, and the topology of data transmission are discussed. The research results contribute to reducing time losses in warning transmission, improving train traffic safety, and enhancing the efficiency of railway transport management systems.

Keywords: railway transport, warning system, automated control, Bayesian network, monitoring, traffic safety, data transmission, fault diagnostics

Ogohlantirishni berishda zamonaviy texnologiyalarning samaradorligini asoslash uchun Bayes tarmog'iga asoslangan ma'lumotlar sifatini baholashning matematik modelini ishlab chiqish

Toxirov N.S.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada temir yo'l transportida ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan tizimini takomillashtirish, ma'lumotlarni uzatish jarayonlarining ishonchliligi hamda harakat xavfsizligini oshirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqot davomida temir yo'l uchastkalarida ogohlantirishlarni tezkor yetkazish, nosozliklar haqidagi axborotlarni qayta ishlash va monitoring qilish jarayonlari tahlil qilingan. Maqolada Bayes tarmog'i asosida ogohlantirishlarni uzatish tizimining matematik modeli ishlab chiqilgan hamda ma'lumotlar oqimini boshqarishning samarali usullari taklif etilgan. Shuningdek, avtomatlashtirilgan tizimning tarkibiy tuzilmasi, texnologik jarayonlari va ma'lumotlar uzatish topologiyasi ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari ogohlantirishlarni uzatishdagi vaqt yo'qotishlarini kamaytirish, poezdlar harakati xavfsizligini oshirish va temir yo'l transporti boshqaruv tizimining samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: temir yo'l transporti, ogohlantirish tizimi, avtomatlashtirilgan boshqaruv, Bayes tarmog'i, monitoring, harakat xavfsizligi, ma'lumotlar uzatish, nosozliklar diagnostikasi

1. Kirish

Dunyoda raqamli texnologiyalardan foydalangan holda temir yo'l transportini boshqarish tizimlarini rivojlantirish, poyezdlarning harakat tezligi cheklangan sharoitlarda vaqt yo'qotishlarini kamaytirish, shuningdek hujjatlarining elektron aylanishini tashkil etish orqali ogohlantirishlar berish va bekor qilish jarayonlarini avtomatlashtirishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, raqamli texnologiyalarni qo'llagan holda temir yo'l uchastkalarida tezlik chegarasini o'rnatish bilan bog'liq ma'lumotlarni uzatish jarayonlarini avtomatlashtirish orqali vaqt yo'qotishlarini kamaytirish asosida poyezdlar harakatini samarali tashkil etish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga,

poyezdlar harakat tezligi cheklangan sharoitlarda axborot-tahliliy jarayonlarni raqamlashtirish va ogohlantirishlarni uzatish jarayoni ishtirokchilari o'rtasidagi bog'liqliklarni kamaytirish, ma'lumotlar sifatini baholash usuli va matematik modelini ishlab chiqish orqali poyezdlarning temir yo'l uchastkalaridagi harakati davomida vaqt yo'qotishlarini qisqartirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Ma'lumotlarni sifatli va o'z vaqtida uzatish va qabul qilish uchun yangi texnologiyalar taklif etiladi. Tadqiqotlar natijasida poyezdlar harakati xavfsizligini oshirish tezlikni cheklash haqidagi ma'lumotlarni sifatli va bir vaqtning o'zida avtomatik uzatish tizimi (OBAT) ishlab chiqildi.

Ma'lumotlar sifati darajasi qaror qabul qilish va texnologik jarayonlarni rejalashtirishda asosiy omillardan

 <https://orcid.org/0000-0003-1385-9263>



biri hisoblanadi. Ma'lumotlar sifatini baholashni o'rganish uchun Bayes tarmog'i usuli taklif etiladi [12-15]. Ushbu usul shartli ehtimolliklardan tashkil topgan bo'lib grafik ehtimollik modelini nazarda tutadi.

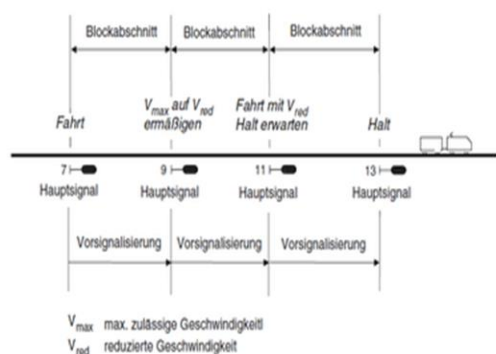
2. Tadqiqot metodologiyasi

Hozirgi kunda jahon miqyosida, jumladan Rossiya, Germaniya, Shvetsariya, Ispaniya, Yaponiya va shu kabi ko'plab davlatlar temir yo'l transportida tezlik cheklangan sharoitlarda ogohlantirishlarni raqamli texnologiyalari bilan integratsiyalashgan holda poyezd mashinistlariga uzatish bo'yicha zamonaviy chora-tadbirlar ishlab chiqilmoqda [1-6].

Jumladan, Yevropa temir yo'llarida tezlikni cheklash ogohlantirishlarini avtomatlashtirilgan tizim orqali uzatish va bekor qilish bo'yicha bir qancha olimlar o'zlarining nazariy qarashlari bilan ilmiy ishlar olib borgan.

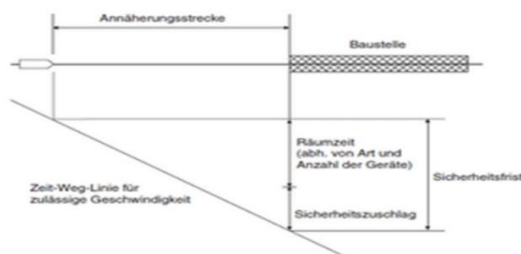
Jumladan, Stefan Lüdgers avtomatlashtirilgan tizimlarning xavfsizligi, va temir yo'l transportida ogohlantirishlarni mashinistlarga yetkazish tizimlari ustida tadqiqotlar olib borgan.

Jörn Pacht [9] ilmiy ishida temir yo'l transportining xavfsizligi, ishonchiligi va samaradorligini oshirish temir yo'l transportida real vaqt rejimida ogohlantirishlarni monitoring qilish va nosozliklarni aniqlash bo'yicha tadqiqotlar olib borgan (1-rasm).



1-rasm. Peregon va blok uchastkalarda signallar va ularning joylashish nuqtalari

Jörn Pacht tezlik cheklangan sharoitlarda tashish jarayoni samaradorligi nuqtai nazaridan, temir yo'l sohasida xavfsizlik choralari ta'minlashni quyidagicha tasniflagan.



2-rasm. Ta'mirlanayotgan joyga poyezdlarning kamaytirilgan tezlikda yaqinlashish masofasi

Uchastkalarda nosozliklarni ta'mirlash ishlarini tashkil qilishda xavfsizlikni ta'minlagan holda tashkil etish, ya'ni poyezd yo'lining ta'mirlanayotgan nuqtasiga yaqinlashganda ishchi xodimlarga habarni o'z vaqtida uzatish, ta'mirlash ishlarini olib borayotgan xodimlar xavfsiz hududga o'tishlari

hamda ish qurollarini yo'ldan olib chiqishi uchun yetarlicha vaqt bo'lishi uchun optimal masofalarda xavfsizlik postlarini joylashtirishni taklif etgan (2-rasm). Bunda muallif poyezd kelishidan oldin yo'lni bo'shatish vaqtini ish qurollar soni va turi asosida belgilagan.

Nosozliklar aniqlanganda ishchi xodimlar va poyezdlarning harakat xavfsizligini ta'minlash, ta'mirlash ishlari olib boriladigan joylarda blok signallar qo'yilish masofalarini aniqlash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borgan.

Abduqodirov S.A. [10-12] ishida poyezdlar harakati grafisini tezkor o'zgartirish asosida poyezdlarning yo'l davomida samarasiz vaqt yo'qotishlarini tizimli tahlil qilish va kamaytirish uchun regressiya modellashirish usulidan foydalangan holda poyezdlar harakati grafigi asosiy ko'rsatkichlarining omilli modeli ishlab chiqilgan. Ammo, poyezdlar peregonga chiqib ketganda, aniqlangan nosozliklar sababli poyezdlarning ogohlantirishlar berilgan joylarda tezlashish, sekinlashish va to'xtash vaqtlarini inobatga olmagan.

Mahkmov A.X. [6] tadqiqot ishida tashish jarayonida poyezdlar harakat xavfsizligi buzilishlarini inobatga olishni monitoring qilish usullarini joriy etish asosida samarali boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun tashish jarayoni xavfsizligini boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimi takomillashtirilgan. Ammo tashish jarayonidagi nosozliklarning harakat xavfsizligiga ta'sirini inobatga olmagan.

3. Natija va muhokamalar

Ogohlantirishlarni berishning hozirgi va avtomatlashtirilgan tizimi asosiy natijasi chiquvchi ma'lumotlar bo'lganligi sababli, ularning samaradorligini ma'lumotlar sifat mezonlariga muvofiq baholash tavsiya etiladi. Ushbu maqsadga erishish quyidagi vazifalarni hal qilishni o'z ichiga oladi:

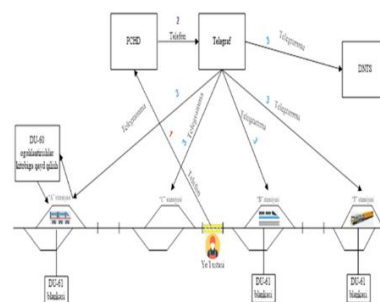
1) Ogohlantirishlarni aniqlanish nuqtasidan kerakli manzilga yetib borishida ularning texnologik sxemalari tavsifi;

2) Bayes tarmog'ini tuzish;

3) Voqealarning ehtimolliklarini aniqlash;

4) Ma'lumotlarning belgilangan manzilgacha yetib borganligi shartli ehtimolliklarini aniqlash.

Poyezdlarga ogohlantirishlarni berish tizimi bo'limlar aniqlangan nosozliklarni telegraf orqali jarayon ishtirokchilariga uzatish usuli asosida ishlaydi (3-rasm). Ogohlantirishlar haqidagi ma'lumotlar bo'lim dispatcherlari tomonidan telegrafga uzatilishi, olingan ma'lumotlarni tegishli jurnalga ro'yxatga olinib Telegraf operatorlari orqali kompyuterga kiritiladi.



3-rasm. Ogohlantirishlarni berish va bekor qilishning hozirgi kundagi texnologik sxemasi

$$K_{mavjud} = \{K_{mavjud}^1, K_{mavjud}^2, K_{mavjud}^3\},$$

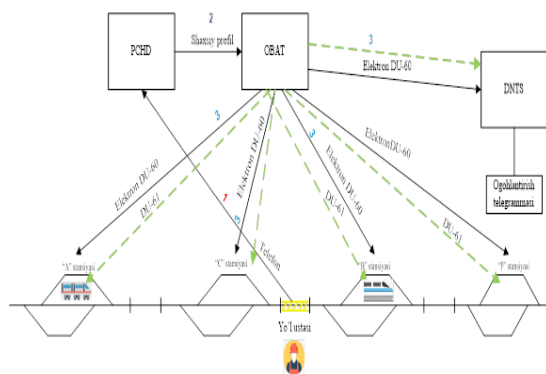


$$R_{mavjud} = \{R_{mavjud}^1, R_{mavjud}^2, R_{mavjud}^3, R_{mavjud}^4, R_{mavjud}^5, I\} \quad (1)$$

$$C_{mavjud} = \{C_{mavjud}^1, C_{mavjud}^2, C_{mavjud}^3\} \quad (2)$$

$$C_{mavjud} = \{C_{mavjud}^1, C_{mavjud}^2, C_{mavjud}^3\} \quad (3)$$

Ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan tizimi (OBAT) optik tolali aloqa tarmog'i va internet texnologiyalarini qo'llash asosida ish jarayonlari tashkil qilinadi. Tizimning maqsadi aniqlangan ogohlantirishlarni o'z vaqtida, ishonchli va sifatli uzatish, ma'lumotlarning bazada saqlash, qayta ishlash statistik ma'lumotlarini shakllantirish, qolaversa jarayonlarni nazorat qilish, tezkor choralar ko'rish bilan bog'liq harakat xavfsizligini ta'minlashda tezkor qarorlar qabul qilishga qaratilgan [4]. Bo'lim dispetcherlari tomonidan shaxsiy kompyuterlar orqali umumiy aniqlangan tezlikni cheklash haqidagi ogohlantirishlarni ma'lumotlar bazasiga kiritilishi va bir vaqtning o'zida stansiya navbatchilari, YaDM dispetcherlari, poyezd mashinistlariga ma'lumotlarini yuborish hamda uzatilgan ma'lumotlarni qabul qilinganlik nazoratini amalga oshirish vazifasi yuklatiladi (4-rasm).



4-rasm. OBATda ma'lumotlar uzatishning topologik sxemasi

Bayes tarmog'ini tuzishda taqqoslash ikki tizimdagi ma'lumotlar sifati bir xil shartlarda amalga oshiriladi (17-ilovala).

Poyezdlarga ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan tizimi orqali uzatish bilan bog'liq amallarni bajarish shartlari:

1-shart. Ogohlantirish aniqlangan uchastkaning toq tarafidan chegaralovchi "K_{mavjud}" stansiyasidagi poyezdga DU-61 ogohlantirish blankasini o'z vaqtida va to'liq yetib bordi.

2- shart. Ogohlantirish aniqlangan peregonning toq tarafidan chegaralovchi "C_{mavjud}" stansiyasi navbatchisiga ogohlantirish telegrammasi o'z vaqtida va to'liq yetib bordi.

3- shart. Ogohlantirish aniqlangan peregonning juft tarafidan chegaralovchi "R_{mavjud}" stansiyasidagi poyezdga DU-61 ogohlantirish blankasi o'z vaqtida va to'liq yetib bordi.

4- shart. Ogohlantirish aniqlangan uchastkaning juft tarafidan chegaralovchi "P" stansiyasi navbatchisiga ogohlantirish telegrammasi o'z vaqtida va to'liq yetib bordi.

5-shart. Ogohlantirish aniqlangan uchastka dispetcheriga ogohlantirish telegrammasi o'z vaqtida va to'liq yetib bordi.

Ushbu tizimlardagi ma'lumotlar sifatini solishtirish uchun Bayes tarmog'i usulidan foydalaniladi. Bayes tarmog'i uchun umumiy ehtimollik taqsimoti quyidagicha:

$$P(V_1, \dots, V_n) = \prod_j P(V_j | pa(V_j)) \quad (4)$$

Mavjud tizimda poyezdlarga ogohlantirishlar berish tizimining Bayes tarmog'i uchta (K_{mavjud}, R_{mavjud} va C_{mavjud}) o'zgaruvchilar to'plamidan iborat. Bunda to'plami poyezdlarga beriladigan ogohlantirishlar haqidagi ma'lumotlarni stansiyalarga uzatish uchun shakllantirish bilan bog'liq amallarni, to'plami poyezdlarga ogohlantirish berish bo'yicha tizim ichidagi amallarni, to'plami o'zgaruvchilari ma'lumotlar sifatini baholash uchun nazorat hodisalarini o'z ichiga oladi [28, 59, 69, 70].

Taklif etilayotgan tizimda poyezdlarga ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan tizimi uchun Bayes tarmog'i o'zgaruvchilarning uchta (K_{taklif}, R_{taklif}, va C_{taklif}) to'plamidan iborat. Bunda K_{taklif} to'plami poyezdlarga beriladigan ogohlantirishlar haqidagi ma'lumotlarni stansiyalarga uzatish uchun shakllantirish bilan bog'liq amallarni, R_{taklif} to'plamiga poyezdlarga ogohlantirish berish bo'yicha amallar, C_{taklif} to'plami o'zgaruvchilari, ma'lumotlar sifatini baholash uchun nazorat hodisalarini o'z ichiga oladi.

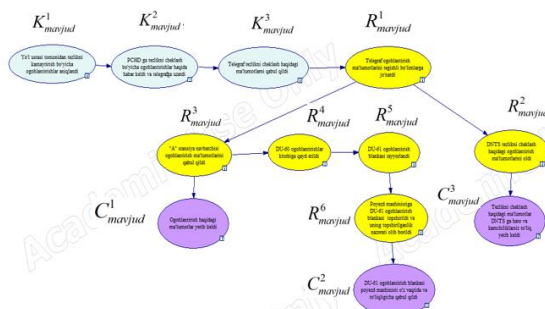
$$K_{taklif} = \{K_{taklif}^1, K_{taklif}^2, K_{taklif}^3\}, \quad (5)$$

$$R_{taklif} = \{R_{taklif}^1, R_{taklif}^2, R_{taklif}^3, R_{taklif}^4, R_{taklif}^5\}, \quad (6)$$

$$C_{taklif} = \{C_{taklif}^1, C_{taklif}^2, C_{taklif}^3\}. \quad (7)$$

Ma'lumotlarni uzatish jarayonini tahlil qilish orqali taklif etilayotgan tizimning ishonchlilikini oshirish maqsadida, ogohlantirish blankalarini poyezd mashinistiga yetkazishda server (ma'lumotlar bazasi)da nosozliklar aniqlanganda uzatish texnologiyasi 5-rasmda keltirilgan.

Uchastkadagi aniqlangan ogohlantirishlarni uzatish amallari asosida Bayes tarmog'ida monitoring tizimlarining ishlash jarayonlari tuziladi. Ogohlantirishlarni berish va bekor qilish jarayonlarining yuborilgan ma'lumotlar mantiqiy ravishda o'zaro bir-biriga bog'langanligini 5-rasmdan ko'rish mumkin.

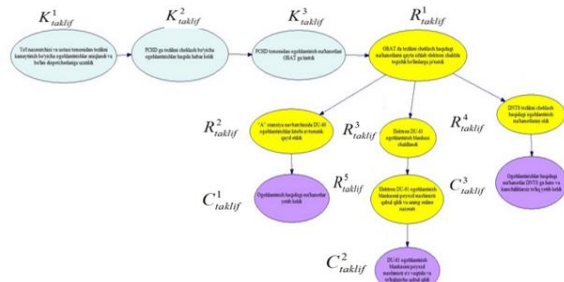


5-rasm. Ogohlantirishlarni berishni hozirgi kundagi Bayes ish tarmog'i

Ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan uzatish tizimi ishlab chiqiladi (6-rasm).

5 va 6-rasmlardan foydalangan holda mavjud hamda taklif etilayotgan tizimlari uchun Bayes tarmog'ining ehtimollik jadvali tuzildi. Ehtimollik jadvali ikkita tizim uchun ham bir xil tuzilgan bo'lib ogohlantirishlarni uzatishda to'liq ehtimollikni tekshirish imkonini beradi. Demak, tezlikni cheklash haqidagi ogohlantirishlarini berishda taklif etilayotgan tizimda ma'lumotlarning qayta

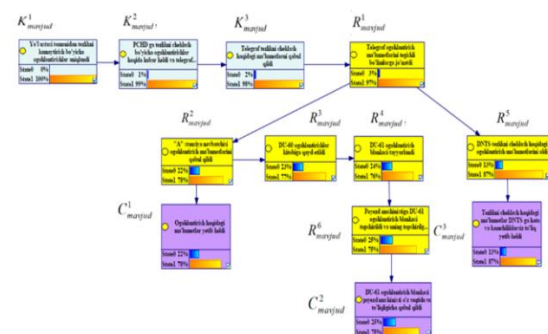
ishlanish jarayoni va bog‘liqliklar kamayishini inobatga olib ma’lumotlarning sifati ortishini ko‘rishimiz mumkin. 3.9-rasmda C_{mavjud}^2 nazorat hodisalarini tekshirish uchun $R_{taklif}^1, R_{taklif}^3, R_{taklif}^4, R_{taklif}^5, R_{taklif}^6$ bosqichlariga bog‘liqligi hisobiga ehtimollikning natijasi pasayishiga sabab bo‘ladi.



6-rasm. OBAT Bayes ish tarmog‘i

Taklif etilayotgan tizim uchun 3.6-rasmda keltirilgan Bayes ish tarmog‘ida esa C_{taklif}^2 nazorat hodisalarining sifati tekshirishda ma’lumotlarning bog‘liqligi kamaygani hisobiga ya’ni $R_{taklif}^1, R_{taklif}^4, R_{taklif}^5$ nazorat hodisalarini taqqoslash natijalari 3.5-3.6-rasmlarda keltirilgan.

Mavjud tizim uchun shartli ehtimollik asosida modellashirishni amalga oshiruvchi grafik dasturidan foydalanib, berilgan ($K_{mavjud}^1, K_{mavjud}^2, K_{mavjud}^3=1$) shartlarga muvofiq ogohlantirishlarni berishning mavjud tizimi barcha o‘zgaruvchilarining ehtimolligi aniqlab olinadi (7-rasm).

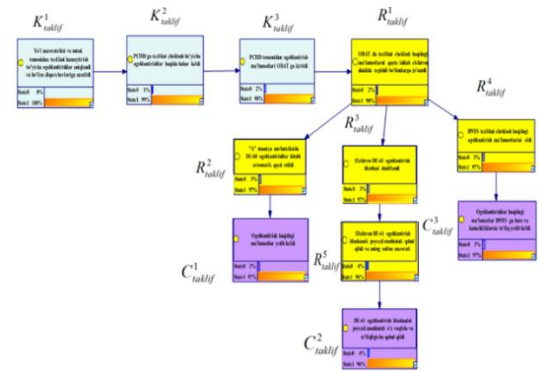


7-rasm. Tezlik cheklangan sharoitlarda ogohlantirishlarini uzatishning hozirgi mavjud tizimi Bayes tarmog‘idagi hodisalarining ehtimolligi

7-rasmdan shuni ko‘rish mumkinki, mavjud tizim orqali ogohlantirishlarni berish jarayonlarining bir-biriga bog‘liqligi sababli Bayes tarmog‘idagi hodisalar ehtimolligi darajasi uzatilgan ma’lumotlarning sifati ham past ekanligini ko‘rish mumkin. Demak, bundan kelib chiqib hujjatlarining bir-biriga bog‘liqligini kamaytirishda ogohlantirishlarni berish jarayonidagi amallarni avtomatlashtirish orqali bog‘liqliklarni kamaytirish qolaversa, uzatilgan hujjatlarining sifati bo‘lishi muhim.

Taklif etilayotgan ogohlantirishlarni berishni avtomatlashtirilgan tizimi uchun shartli ehtimollik asosida matematik modellashirishni amalga oshiruvchi grafik dasturidan foydalangan holda, berilgan ($K_{taklif}^1, K_{taklif}^2, K_{taklif}^3=1$) shartlarga muvofiq ogohlantirishlarni berishni avtomatlashtirilgan tizimi orqali amalga oshirilsa barcha o‘zgaruvchilarining ehtimolligi aniqlab olinadi (8-rasm).

Aniqlangan shartli ehtimolliklar natijalari C_{mavjud} va C_{taklif} yetib brogan ma’lumotlarning sifati ko‘rsatuvchi elementlar hisoblanadi.



8-rasm. Berilgan sharoitlarga muvofiq OBAT Bayes tarmog‘idagi hodisalar ehtimolligi

Demak, ogohlantirishlarni berishning avtomatlashtirilgan tizimining Bayes tarmog‘idagi jarayonlar orasidagi bog‘liqliklar kamayganligi sababli hujjatlar sifati ehtimollik darajasi oshganini ko‘rish mumkin.

To‘liq ehtimollikda Bayes tarmog‘i uchun nazorat hodisalarining hodisalar to‘plami natijalari 9-14-rasmlarda keltirilgan.

Ogohlantirishlarni berishning mavjud va taklif etilayotgan tizimlari hodisalarining ehtimollikni aniqlashda sifati ko‘rsatkichlarini natijasi quyda keltirilgan [11].



9-rasm. C_{mavjud}^1 hodisalar to‘plami

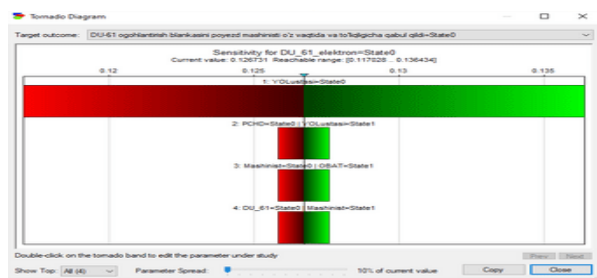
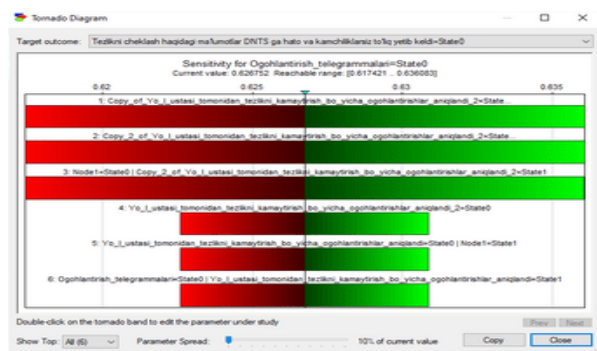
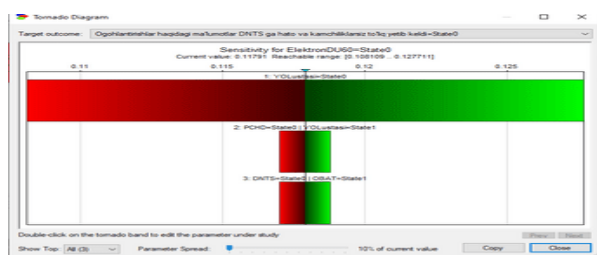


10-rasm. C_{taklif}^1 hodisalar to‘plami



11-rasm. C_{mavjud}^2 hodisalar to‘plami



12-rasm. C_{taklif}^2 hodisalar to'plami13-rasm. C_{mavjud}^3 hodisalar to'plami14-rasm. C_{taklif}^3 hodisalar to'plami

Ogohlantirishlarni berish va bekor qilishning mavjud tizimi va OBATning asosiy maqsadi qaror qabul qiluvchilar uchun tayyor ma'lumotlarni taqdim etishdir [15-16].

Tezlik cheklangan sharoitlarda poyezdlarning harakatini samarali tashkil qilishda ogohlantirishlar ish ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Yuqoridagi holatda yo'qotishlarni kamaytirish uchun asosiy tizim OBATdan foydalanish taklif qilinadi. Ushbu tizim samaradorligini ko'rsatish uchun Bayes tarmog'i natijalari asosida ma'lumotlar sifatini taqqoslash quyidagicha:

C_{taklif} elementining ehtimolliklarini ko'rib chiqish bilan ma'lumotlarining sifat darajasi tahlil qilinadi;

Natijalarni taqdim etish qulay bo'lishi uchun qo'shimcha o'zgaruvchilardan foydalaniladi. Berilgan shartlar bo'yicha nazorat o'zgaruvchilari Ehtimollik qiymatlarini oladi. Mavjud tizim va ogohlantirishlarni berishni avtomatlashtirilgan tizimi uchun ushbu o'zgaruvchilar (8)-(13) ifodalar asosida hisoblangan.

$$E_{ehtimollik}^{mavjud} = P_{mavjud}^1(C_{mavjud} | K_{mavjud}^1, K_{mavjud}^2, K_{mavjud}^3) \quad (8)$$

$$E_{ehtimollik}^{mavjud} = P_{mavjud}^2(C_{mavjud} | K_{mavjud}^1, K_{mavjud}^2, K_{mavjud}^3) \quad (9)$$

$$E_{ehtimollik}^{mavjud} = P_{mavjud}^3(C_{mavjud} | K_{mavjud}^1, K_{mavjud}^2, K_{mavjud}^3) \quad (10)$$

$$E_{ehtimollik}^{taklif} = P_{taklif}^1(C_{taklif} | K_{taklif}^1, K_{taklif}^2, K_{taklif}^3) \quad (11)$$

$$E_{ehtimollik}^{taklif} = P_{taklif}^2(C_{taklif} | K_{taklif}^1, K_{taklif}^2, K_{taklif}^3) \quad (12)$$

$$E_{ehtimollik}^{taklif} = P_{taklif}^3(C_{taklif} | K_{taklif}^1, K_{taklif}^2, K_{taklif}^3) \quad (13)$$

Ogohlantirish berish jarayonlarini avtomatlashtirish natijasida quyidagilarga erishilgan (3.7, 3.8-rasmlar):

1. Ogohlantirish haqidagi ma'lumotlarning yetib kelish ehtimolligi mavjud tizimda 0,71 ni, taklif etilayotgan tizimda bu ehtimollik 0,97 ni tashkil etgan.

2. DU-61 ogohlantirish blankasi mashinist tomonidan o'z vaqtida qabul qilinishi mavjud tizimda 0,75 ni, avtomatlashtirilgan tizimda esa 0,96 ni tashkil etgan.

3. Ogohlantirishlar haqidagi ma'lumotlar poyezd dispetcheriga xato va kamchiliklarsiz to'liq yetib kelishi ehtimoli mavjud tizimda 0,79 ni, taklif etilayotgan tizimda esa 0,97 ni tashkil etgan.

Ushbu aniqlangan qiymatlar ma'lumotlarning sifat darajasi deb qabul qilinadi. Tadqiqotlar natijalari orqali OBATda ma'lumotlarning sifat darajasi mavjud tizimiga nisbatan yuqori va barqaror ekanligi ilmiy asoslandi. Buning sababi Bayes tarmog'ida tekshirilayotgan parametrlarning nazorat hodisalari natijalaridan ko'rish mumkin bo'ladi. Texnologik jarayonlarning bir-biriga bog'liqliliklari tizim avtomatlashtirilganligi sababli kamayganligi sababli olingan natijalarning, ma'lumotlarning sifati yuqori bo'lishini ko'rsatdi. Bu esa OBAT yuqori samaradorlikka erishish mumkinligini ko'rsatadi.

4. Xulosa

Ogohlantirishlarni berishning mavjud va taklif etilayotgan tizimlarida ma'lumotlarni uzatishda jarayon hodisalarining ehtimolligi natijalarini tahlil qilindi. Maqsad tezlik cheklangan sharoitlarda ogohlantirishlarning o'z vaqtida va sifatli uzatish va qabul qilish hisoblanadi.

OBATni ishlab chiqarish jarayoniga tadbiiq etish orqali texnologik jarayonlarda inson omilini, shu jumladan ma'lumotlarni sifatli va tezkor uzatishiga va poyezdlar harakat xavfsizligini yanada oshirishga xizmat qiladi. Ogohlantirishlarni avtomatlashtirilgan tizim orqali uzatishda poyezdlar harakatini tashkil etishda ma'lumotlar bir vaqtning o'zida barcha jarayon ishtirokchilariga bir vaqtda yetib borishi hisobiga poyezdlarning vaqt yo'qotishlarini kamaytirishga va iqtisodiy samaradorlikka erishishga xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш., Тохиров Н.С., Ахмедова М.Д. Поездларга бериладиган огохлантиришларни участканинг ўтказиш қобилятига таъсирини ўрганиш // Academic research in educational sciences. – 2021. Volume 2. 483-490 б.
- [2] Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш., Тохиров Н.С. “Ўзбекистон темир йўллари” АЖда поездларга

бериладиган огохлантиришларни автоматлаштирилган тизимини яратиш асосида поездлар ҳаракати хавфсизлигини ошириш чора тadbирлари // Фарғона политехника институти Илмий – техника журналин. – 2021. №4. 168-172 б.

[3] Мишарин А.С. Организация эффективного функционирования железнодорожного транспорта на основе современных информационных технологий. Автореф. дис. док. техн. наук. Екатеринбург. – 2005. – 52 с.

[4] К.В. Суружин. Влияние временных предупреждений об ограничении ходовых скоростей по состоянию пути на пропуск грузовых поездов / К.В. Суружин // Дисс. к.т.н., – М.: МИИТ, 2009 г. – 189 с.

[5] Baratov D.X. Temir yo‘l avtomatika va telexanika qurilmalarini xujjatlashtirishning avtomatlashtirish vositalarini yaratish ilmiy asaslarini takomillashtirish: texnika fanlari doktori (DSc) ... dissertatsiya. – Toshkent: TTYMI, 2019. – 173 b.

[6] Weining Haoa , Lingyun Menga, Francesco Cormanb , Sihui Longa , Xi Jianga, “A train timetabling and stop planning optimization model with passenger demand”. 8 th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis - RailNorrköping 2019. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000368928>

[7] Ralf Borndörfer, Armin Fügenschuh, Torsten Klug, Thilo Schang, Thomas Schlechte, Hanno Schüllendorf The Freight Train Routing Problem // Angewandte Mathematik und Optimierung Schriftenreihe. – 2017. – №8. – pp – 1-14.

[8] Tokhirov N.S., Jumayev Sh.B., Toshtemirov I.M. Stages of improvement for the processes of issuing alerts to trains // Actual problems of modern science, education and training. Urganch. – 2024. №9 p. 45-52.

[9] Toxirov N.S. “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ da yo‘lovchi poyezdlariga beriladigan ogohlantirishlarni berishni avtomatlashtirishning tahlili // “Mashinasozlik” ilmiy xabarnomasi. – Andijon, 2019. – 104-107 b.

[10] Toxirov N.S., Improving the method for reducing unproductive losses in speed-limited conditions// The scientific journal vehicles and roads. – 2025. – №1. – 24-30 p.

[11] Valerio De Martinisa, Mariano Gallob. Models and methods to optimise train speed profiles with and without energy recovery systems: a suburban test case // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2013. – № 87. – 222-233 pp.

[12] Мугинштейн Л.А., Лохач А.В., Мерман И.И. и др. Метод постоянных перегонных скоростей для оценки энергозатрат на тягу поездов // Вестник ВНИИЖТ. – №4. – 2000. – С. 16-19.

[13] <https://uzrailpass.uz/>

[14] <https://gov.uz/oz/mintrans>

[15] https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/oepnv-deutschlandticket-auslastung-fahrgastzahlen-100.html?utm_source=chatgpt.com

[16] https://www.mccberlin.net/en/news/information/information-detail/article/49-euro-ticket-resulted-in-significant-modal-shift-from-road-to-rail.html?utm_source=chatgpt.com.

Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot/ Information about the authors

Toxirov Nosirjon
Sobirjon o‘g‘li /
Sobirjon Tokhirov

Toshkent davlat transport
universiteti “Temir yo‘ldan
foydalanish ishlarini boshqarish”
kafedrasida katta o‘qituvchi . t.f.f.d
(PhD).

E-mail: nosirtohirov@gmail.com

Tel.: +99899 870 81 93

<https://orcid.org/0000-0003-1385-9263>



Structural analysis of information relationships and classification of gas supply problems

N.A. Ganieva¹, D. Pak¹

¹Samarkand Branch of Tashkent University of Information Technologies, Samarkand, Uzbekistan

Abstract: The article examines the issues of structural analysis of information relationships and the classification of problems in gas supply systems as complex organizational and technical management objects. An analysis of modern approaches to modeling the functioning processes of gas distribution networks has been carried out. An information-logical model for automating the calculation of technical and technological indicators of gas supply systems has been developed. A classification of problems related to the design, operational analysis, and control of gas supply networks is proposed. The principles of system and hierarchical modeling aimed at improving the efficiency of analyzing the operating modes of gas distribution systems are considered. The practical significance of the study lies in the possibility of using the developed model for automating hydraulic calculations, assessing pressure losses, and operational control of gas flow distribution.

Keywords: gas supply system, gas distribution network, structural analysis, information-logical model, hydraulic calculation, flow distribution, mathematical modeling, system analysis, gas supply management

Структурный анализ информационных связей и классификации задач газоснабжения

Ганиева Н.А.¹, Пак Д.¹

¹Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий,
Самарканд, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы структурного анализа информационных связей и классификации задач систем газоснабжения как сложных организационно-технических объектов управления. Проведен анализ современных подходов к моделированию процессов функционирования газораспределительных сетей. Разработана информационно-логическая модель автоматизации расчётов технико-технологических показателей газоснабжающих систем. Предложена классификация задач проектирования, анализа функционирования и оперативного управления газоснабжающими сетями. Рассмотрены принципы системного и иерархического моделирования, обеспечивающие повышение эффективности анализа режимов функционирования газораспределительных систем. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной модели для автоматизации гидравлических расчётов, оценки потерь давления и оперативного управления потокораспределением газа.

Ключевые слова: система газоснабжения, газораспределительная сеть, структурный анализ, информационно-логическая модель, гидравлический расчёт, потокораспределение, математическое моделирование, системный анализ, управление газоснабжением

1. Введение

Современные системы газоснабжения относятся к классу сложных организационно-технических систем, характеризующихся многосвязностью, многоуровневой структурой и стохастическим характером функционирования. Рост объемов потребления природного газа, расширение городской инфраструктуры и необходимость повышения надежности газораспределительных сетей требуют внедрения современных методов анализа, моделирования и управления технологическими процессами газоснабжения.

В условиях цифровизации отраслей экономики Республики Узбекистан особую актуальность приобретают задачи разработки информационно-аналитических моделей, позволяющих автоматизировать процессы проектирования, мониторинга и оперативного управления объектами газоснабжения. Одним из важнейших направлений является построение структурных моделей информационных связей между технологическими параметрами системы газоснабжения и вычислительными модулями анализа режимов функционирования сети [1,2].

 <https://orcid.org/0000-0002-2593-9618>



Системы газоснабжения включают совокупность взаимосвязанных объектов добычи, транспортировки, распределения и потребления газа, функционирующих в условиях воздействия внешних и внутренних возмущений. Это требует применения методов системного анализа, математического моделирования и современных информационных технологий для обеспечения устойчивости и эффективности функционирования газораспределительных сетей [3,4].

Целью исследования является проведение структурного анализа информационных связей и разработка классификации задач систем газоснабжения для повышения эффективности процессов проектирования, анализа функционирования и оперативного управления газораспределительными сетями.

2. Методика исследования

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Газоснабжающие системы представляют собой сложный технологический комплекс, включающий магистральные и распределительные трубопроводы, газорегуляторные пункты, компрессорные станции и средства автоматизированного управления. Основными задачами функционирования данных систем являются обеспечение бесперебойной подачи газа потребителям, поддержание нормативных параметров давления и минимизация технологических потерь.

Проведённый анализ научных исследований показал, что современные подходы к управлению системами газоснабжения базируются на использовании методов математического моделирования, гидравлического расчёта, вероятностно-статистического анализа и оптимизационных алгоритмов [4,5].

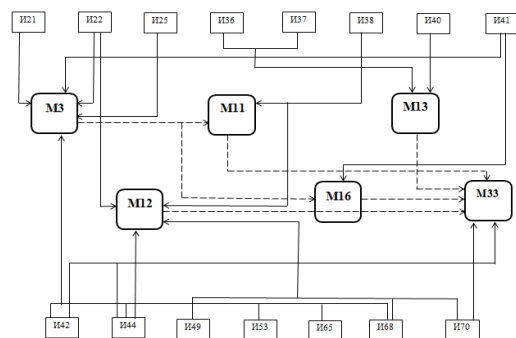


Рис.1. Структура информационно-логической модели системы газоснабжения

В работах ряда исследователей задачи анализа газораспределительных сетей рассматриваются с применением:

- методов теории графов;
- моделей потокораспределения;
- вероятностных методов оценки аварийных ситуаций;
- методов динамического программирования;
- алгоритмов оптимального управления потоками газа.

Однако существующие методы зачастую ориентированы на решение отдельных локальных задач

и не обеспечивают комплексной интеграции информационных потоков в рамках единой системы управления газоснабжением [5,13].

Результаты, полученные при решении задачи анализа гидравлических параметров, будут исходными данными для последующих задач (рис. 2).

Перечень задач и порядок их решения при проектировании, анализе функционирования и оперативном управлении системой газоснабжения города также приводятся в работах [6-8]. Выходная информация одной задачи служит входной информацией следующих за ней решаемых задач. Таким образом, процесс проектирования можно разбить на три уровня, состоящей из всех рассмотренных задач.

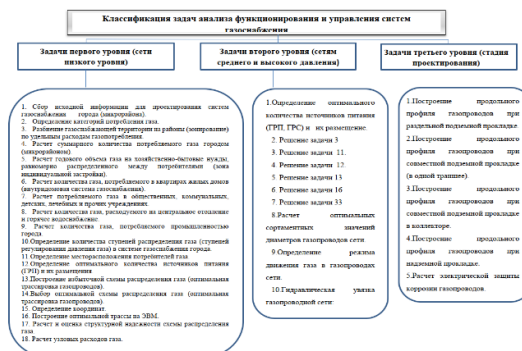


Рис.2. Схема классификации задач анализа функционирования и управления систем газоснабжения

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Одним из ключевых этапов исследования является построение информационно-логической модели, обеспечивающей формализацию взаимосвязей между технологическими параметрами газоснабжающей системы и вычислительными модулями анализа режимов функционирования сети.

Разработка информационно-логической модели позволяет [7,10]:

- систематизировать исходные параметры газоснабжающей сети;
- определить взаимосвязи между информационными потоками;
- автоматизировать процессы гидравлического расчёта;
- повысить достоверность оценки показателей функционирования системы;
- обеспечить поддержку принятия решений при оперативном управлении газоснабжением.

В разработанной модели информационные параметры представлены совокупностью входных данных $I_1, I_2, \dots, I_{73}$, характеризующих:

- давление газа;
- расход газа;
- коэффициенты гидравлического сопротивления;
- параметры трубопроводов;
- температурные характеристики;
- физико-химические свойства газа.

Вычислительные процедуры реализуются посредством модулей $M_1, M_2, \dots, M_{33}$, обеспечивающих расчёт основных технологических параметров системы



газоснабжения.

К основным вычисляемым параметрам относятся пластовое давление, дебит газовой скважины, пропускная способность газопровода, потеря давления, температура газа, коэффициенты фильтрационного сопротивления, мощность компрессорной станции [8,11].

Информационно-логическая модель позволяет объединить разрозненные задачи проектирования и эксплуатации газоснабжающих сетей в единую вычислительную среду. Это создаёт предпосылки для комплексной автоматизации процессов анализа функционирования и управления газораспределительными системами.

Важным преимуществом разработанной модели является возможность её адаптации к различным режимам функционирования сети, включая:

- нормальный режим эксплуатации;
- режимы повышенного потребления газа;
- аварийные и нештатные ситуации;
- режимы реконструкции сети.

Структурная организация модели обеспечивает возможность оперативного обновления параметров системы на основе поступающих данных мониторинга, что особенно важно при функционировании городских газораспределительных сетей.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Системы газоснабжения относятся к классу сложных технических систем управления, функционирование которых сопровождается воздействием множества внутренних и внешних факторов.

К основным особенностям газоснабжающих систем относятся:

- многомерность параметров;
- многосвязность элементов;
- иерархическая структура;
- стохастический характер процессов;
- наличие локальных и глобальных критериев оптимальности.

В процессе исследования установлено, что эффективное управление системой газоснабжения возможно только при использовании принципов системного анализа и иерархического моделирования [6,12].

Принцип системного анализа предполагает рассмотрение газоснабжающей сети как единого взаимосвязанного объекта, включающего магистральные трубопроводы, распределительные сети, газорегуляторные пункты, компрессорные станции и подсистемы мониторинга и управления.

Иерархический подход позволяет разделить задачи функционирования системы на несколько уровней:

1. уровень проектирования;
2. уровень анализа функционирования;
3. уровень оперативного управления.

На основе проведённого исследования была разработана классификация задач систем газоснабжения (табл. 1).

Таблица 1

Классификация задач систем газоснабжения

Группа задач	Основное содержание
Проектные задачи	Выбор структуры сети, определение диаметров труб, расчёт пропускной способности
Аналитические задачи	Гидравлический расчёт, оценка потерь давления, анализ режимов функционирования
Управляющие задачи	Регулирование потокораспределения, оперативное управление подачей газа
Диагностические задачи	Выявление аварийных ситуаций, обнаружение утечек, анализ нештатных режимов
Оптимизационные задачи	Минимизация потерь, выбор квазиоптимальных параметров сети

Предложенная классификация обеспечивает систематизацию процессов проектирования и эксплуатации газораспределительных сетей и позволяет формализовать задачи автоматизации расчётов. Важной особенностью разработанного подхода является возможность объединения аналитических и вычислительных процедур в рамках единой информационной среды.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При исследовании процессов функционирования газоснабжающих сетей одной из важнейших задач является определение оптимальных параметров трубопроводной системы, обеспечивающих требуемую пропускную способность при допустимых потерях давления [7].

В качестве критерия оптимальности рассматривается минимизация капитальных затрат на строительство и эксплуатацию сети:

$$F = \sum_{i=1}^m b d_i^\alpha l_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где:

b — стоимостный коэффициент;
 d_i — диаметр участка газопровода;
 l_i — длина участка;
 m — количество участков сети.

Ограничением задачи является условие обеспечения допустимого перепада давления:

$$\sum_{i=1}^m \Delta P_i = \Delta P_{Dop} \quad (2)$$

Для определения оптимальных параметров сети используется метод множителей Лагранжа. Функция



Лагранжа имеет вид:

$$L = F + \lambda(\sum_{i=1}^m \Delta P_i - \Delta P_{доп}) \quad (3)$$

В процессе решения задачи осуществляется:

- расчёт расходов газа по участкам;
- определение перепадов давления;
- выбор оптимальных диаметров труб;
- оценка режимов функционирования сети.

Для оценки расхода газа по участкам используется зависимость:

$$Q_i = k \sum q_i n_i$$

где Q_i – расход газа, q_i – удельный расход, n_i – количество потребителей, k – коэффициент одновременности.

Разработанная математическая модель позволяет проводить расчёты как для тупиковых, так и для закольцованных газораспределительных сетей [8].

3. Результаты и Обсуждение

Практическая реализация разработанных моделей и алгоритмов была выполнена для газоснабжающей сети махалли «Обод Маскани» города Самарканда. В ходе исследования были проведены:

- расчёты перепадов давления;
- анализ пропускной способности участков;
- оценка расходов газа;
- подбор диаметров трубопроводов;
- моделирование режимов функционирования сети.

Исследуемая сеть была построена из 25–33 расчётных участков, газорегуляторные пункты, магистральные и распределительные трубопроводы и участки различного диаметра.

Результаты вычислительного эксперимента показали повышение точности гидравлических расчётов, снижение времени проектных работ, улучшение оценки режимов функционирования сети и повышение эффективности оперативного управления газоснабжением.

Практическое внедрение разработанных алгоритмов и программных средств в подразделениях газоснабжения Самаркандской области подтвердило эффективность предложенного подхода [8].

4. Заключение

В работе проведён структурный анализ информационных связей и классификация задач систем газоснабжения как сложных технических объектов управления. Разработана информационно-логическая модель автоматизации расчётов показателей функционирования газоснабжающих сетей, обеспечивающая интеграцию информационных потоков и вычислительных процедур в рамках единой системы.

Предложена классификация задач проектирования, анализа функционирования и оперативного управления газоснабжающими сетями, позволяющая систематизировать процессы исследования и эксплуатации объектов газоснабжения.

Разработанная математическая модель обеспечивает возможность определения оптимальных параметров газораспределительной сети с учётом ограничений по перепадам давления и расходам газа.

Практическая реализация предложенных моделей и алгоритмов на примере газоснабжающей сети махалли «Обод Маскани» города Самарканда показала эффективность разработанного подхода и возможность его применения для автоматизации процессов анализа и управления системами газоснабжения.

Использованная литература / References

- [1] Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие. Санкт-Петербург ИТМО, 2009. –173-175 с.
- [2] Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Изд-во: Самарский государственный технический университет, Самара, 2009. –61-68 с.
- [3] Колпакова Н. В. Проектирование городских систем газоснабжения: учеб.-метод. Пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2017. — 17-20 с.
- [4] СНиП 23-01-99. Строительная климатология. — М.: ЦИТП Госстроя России, 2000. —136 с
- [5] Ямалов И. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуациях. Издательство «ЛитРес». –2021 с.17-20.
- [6] Кассина Н.В. и др. Математическое моделирование разветвленных гидравлических систем // Компьютерные исследования и моделирование. – 2009. – Т.1, №2. – С.173-179.
- [7] Ганиева, Н. (2023). Концептуальные особенности формирования и формализации информационно-логической модели оценки структурных связей задач систем газоснабжения. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 4(2), 34–42. извлечено от <https://ijdt.uz/index.php/ijdt/article/view/80>
- [8] Ганиева, Н., & Узакова, А. (2024). Оценка причинно-следственной модели показателей функционирования газораспределительной сети при нештатных ситуациях. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 7(4), 68–72. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i4.221>
- [9] Прангишвили И.В., Лотоцкий В.А. и др. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям. Журнал «Проблемы управления». –№4, 2004. –С.2-15.
- [10] J. Ruths, A. Zlotnik, and J.-S. Li. Convergence of a pseudospectral method for optimal control of complex dynamical systems. In 50th IEEE Conf. on Decision and Control, pages 5553–5558. IEEE, 2011.
- [11] Khuzhayorov B.Kh., Ganieva N.A., Khodzhaev T.T. Research and assessment of the situation model of the performance indices analysis of gas supply network // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. – 2020. – Vol. 10, Issue 3. –P.15485-15494.
- [12] Ríos-Mercado R. Z. and Borraz-Sánchez C., “Optimization problems in natural gas transportation systems: A state-of-the-art review,” Applied Energy, vol. 147, pp. 536–555, 2015. View at Publisher • View at Google Scholar • View at Scopus
- [13] Wong P. J. and Larson R. E, “Optimization of Natural-Gas Pipeline Systems via Dynamic Programming,” IEEE Transactions on Automatic Control,



vol. 13, no. 5, pp. 475–481, 1968. View at Publisher • View at Google Scholar • View at Scopus.

Тел.: +998 90 5030085

<https://orcid.org/0000-0002-2593-9618>

Информация об авторах/ Information about the authors

Ганиева Нилуфар /
Nilufar Ganieva
Доцент Самаркандского
филиала Ташкентского
университета
информационных
технологий, Самарканд,
Узбекистан
E-mail: nily-85@yandex.ru

Пак Дина /
Dina Pak

Студентка 2 курса
Самаркандского филиала
Ташкентского университета
информационных
технологий, Самарканд,
Узбекистан
E-mail:
pakd5587@gmail.com
Тел.: +998 90 600 47 48



Analysis of hazardous (injury-causing and harmful) production factors in the technological processes of ceramic tile manufacturing

S.S. Sulaymonov¹^a, N.A. Erdonova²^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent state technical university named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article presents a comprehensive analysis of technological processes in ceramic tile manufacturing enterprises from the perspective of occupational safety and industrial hygiene. The study identifies and comparatively evaluates the main hazardous and harmful production factors at the stages of raw material reception and preparation, crushing, sorting, forming, firing, and packaging. It is substantiated that the dominant risk factors include dust exposure (quartz aerosols), high levels of noise and vibration, unfavorable microclimate conditions, and thermal loads. Based on hygienic assessment criteria, the level of occupational hazard was determined, and a set of engineering, organizational, and preventive measures aimed at reducing adverse effects on workers was proposed. The results of the study have practical significance for improving workplace safety and preventing occupational diseases.

Keywords: ceramic tile, technological chain, quartz aerosol, thermal radiation, mechanical injury, occupational hygiene, comparative analysis

Keramik plitka ishlab chiqarish texnologik jarayolaridagi xavfli (jarohatlovchi va zararli) ishlab chiqarish omillarining tahlili

Sulaymonov S. S.¹^a, Erdonova N.A.²^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada keramik plitka ishlab chiqarish korxonalarida amalga oshiriladigan texnologik jarayonlar mehnat muhofazasi va ishlab chiqarish gigiyenasi nuqtai nazaridan kompleks tahlil qilingan. Tadqiqot davomida xomashyoni qabul qilish va tayyorlash, maydalash, saralash, shakllantirish, pishirish hamda qadoqlash bosqichlarida yuzaga keladigan asosiy xavfli va zararli ishlab chiqarish omillari aniqlanib, ularning ishchilar salomatligiga ta'siri qiyosiy baholangan. Ish jarayonida changlanish (kvarts aerozollari), yuqori darajadagi shovqin va vibratsiya, noqulay mikroiklim hamda termik yuklamalarning ustuvor xavf omillari sifatida ajralib turishi asoslab berilgan. Mehnat sharoitlarini gigiyenik baholash mezonlari asosida ishlab chiqarish muhitining xavflilik darajasi aniqlanib, uni kamaytirishga qaratilgan muhandislik, tashkiliy va profilaktik chora-tadbirlar taklif etilgan. Tadqiqot natijalari ishlab chiqarish korxonalarida mehnat xavfsizligini oshirish va kasb kasalliklarining oldini olishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: keramik plitka, texnologik zanjir, kvarts aerozoli, termik nurlanish, mexanik jarohatlanish, mehnat gigiyenasi, qiyosiy tahlil

1. Kirish

O'zbekiston Respublikasida qurilish materiallari sanoatining drayveri hisoblangan keramika tarmog'i so'nggi yillarda texnologik jihatdan yangilandi, mahsulot sifati, dizayni ko'rsatgichlari halqaro standartlar talabiga mosligi ta'minlandi va ta'minlanmoqda. Murakkab innovatsion fizik-kimyoviy jarayonlar, yangi xomashyolar qo'llanilishi bir tomondan, mahsulot sifatini ortishini ta'minlaydi, ikkinchi tomondan, texnologiyaning murakkablashishi yangi turdagi xavfli (jarohatlovchi, zararli) omillarning paydo bo'lish ehtimolini ko'paytiradi. Shuning uchun ishlab chiqarish muhiti paydo qiladigan ish o'rinlaridagi mehnat sharoitlarini yaxshilash, gigiyenik talablarga mos mehnat sharoitlarini

yaratishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borish o'ta muhim dolzar masala hisolanadi.[1,3]

2. Tadqiqot metodologiyasi

Texnologik jarayonlarning tavsiflari va ularni amalga oshirishdagi xavflarni manbalari

Keramik plitka ishlab chiqarish murakkab fizik-kimyoviy jarayon bo'lib, u quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi:

Xomashyoni qabul qilish va boyitish-bu keramik plitka ishlab chiqarishning boshlang'ich bosqichi bo'lib, tarkibiy komponentlarni (gil, kaolin, qum, dala shpati) sifat ko'rsatkichlari bo'yicha saralash, begona aralashmalardan tozalash, maydalash va ularni keyingi texnologik bosqich

^a <https://orcid.org/0000-0001-5275-5200>

^b <https://orcid.org/0009-0000-7875-8266>



(shlikar tayyorlash) uchun talab etiladigan fizik-kimyoviy holatga keltirish jarayonidir.[3,4]

Xomashyo tayyorlash bo'limi-keramik plitka ishlab chiqarish zanjiridagi eng yuqori texnogen yuklamaga ega bo'lgan zona hisoblanadi. Bu yerda mehnat sharoitlari xavflilik darajasi bo'yicha 3-klass (zararli) va 4-klass (o'ta zararli) toifalariga kiruvchi omillar (chang, shovqin, tebranish) bilan tavsiflanadi.

Keramik plitka ishlab chiqarishning xomashyoni qabul qilish va saqlash, boyitish, maydalash hamda saralash kabi kichik jarayonlari alohida tahlil qilinib, har bir bosqich uchun xos xavf manbalari tavsiflanadi:

A. Qabul qilish va saqlash bosqichi

Xomashyo ochiq yoki yopiq omborlarda vagon va yuk mashinalaridan tushiriladi.

Xususiyati: Materiallarning namlik darajasi past bo'lganda aerazol hosil bo'lish (changlanish) ko'rsatkichi eng yuqori nuqtaga chiqadi.

B. Boyitish (aralashtirish va tozalash) tarifi

Tabiiy xomashyo tarkibidagi keraksiz mineral va metall aralashmalarini ajratish jarayoni.

Xavfi: Magnitli separatorlar va saralovchi elaklar (groxotlar) ishlashi natijasida hosil bo'ladigan kuchli dinamik shovqin.

C. Birlamchi maydalash tarifi

Yirik bo'lakli gil va toshlarni jag'li yoki bolg'ali maydalagichlarda (drobilka) kichik fraksiyalarga keltirish.

1-jadval

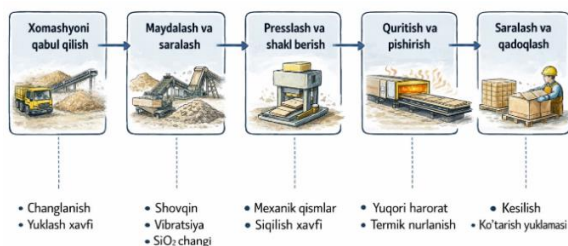
Keramik plitka ishlab chiqarishning asosiy jarayonlariga xos xavflar

Jarayon nomi	Asosiy xavf tarifi	Ta'sir etuvchi parametrlar	Davomiyli gi
Yuklash/Tushirish	Aerazol dispers tizimi	SiO ₂ miqdori (20-70%)	Uzluksiz
Maydalash	Mexanik energiya nurlanishi	Shovqin (90-110 dB)	Davriy
Bunkerlarga uzatish	Dinamik harakat xavfi	Konveyer tezligi (1.5-3 m/s)	Doimiy
Saralash (Elash)	Lokal vibratsiya	Tebranish chastotas i (Gts)	Doimiy

1-jadvalda keramik plitka ishlab chiqarishning asosiy jarayonlari va ularga xos xavf parametrlarining qiyosiy tavsifi keltirilgan.

Ushbu bosqichda chang-havo aralashmasining portlash xavfi va elektr xavfsizligi tariflari muhim o'rin tutadi. Xususan, kvarts changining nam muhitda (yomg'irli havoda yoki namlash tizimi ishlaganda) elektr o'tkazuvchanligi ortishi va elektr uskunalarda qisqa tutashuv keltirib chiqarish ehtimoli ko'rib chiqilishi shart.[4]

Ma'lumki, mehnat sharoitlarini sanitar-gigiyenik baholash-bu ish joyidagi xavfli (jarohatlovchi va zararli) omillarni aniqlash, ularning miqdorini o'lchash hamda inson salomatligiga ta'sirini tahlil qilish jarayonidir.



1-rasm. Keramik plitka ishlab chiqarishning texnologik bosqichlari va ularga xos ustuvor xavf manbalari

1-rasmda keramik plitka ishlab chiqarishning asosiy texnologik bosqichlari hamda har bir bosqichga xos ustuvor xavf manbalari sxematik ko'rinishda berilgan. Ushbu sxema xavf manbalarini ishlab chiqarish zanjiri bilan bog'liq holda aniqlash va profilaktik choralarini bosqichma-bosqich rejalashtirishga xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasi qonunchiligiga ko'ra, bu jarayon ish beruvchining majburiyati hisoblanib, xodimlarning xavfsiz mehnat qilish huquqini ta'minlaydi.[6]

1. Baholashning asosiy maqsadlari

Kasb kasalliklarining oldini olish - bu ishlab chiqarish jarayonida xodimlarning sog'lig'iga zarar yetkazadigan xavf va zararli omillarni vaqtida aniqlash, baholash va ularni bartaraf etish orqali kasb bilan bog'liq kasalliklarning yuzaga kelishini oldini olishga qaratilgan kompleks chora-tadbirlar tizimidir.

Imtiyozlarni belgilash-bu ish joyidagi zararli va xavfli omillar aniqlangandan so'ng, xodimlar uchun qo'shimcha huquq va rag'batlarni ta'minlash orqali mehnat sharoitini kompensatsiya qilish hamda kasb kasalliklari xavfini kamaytirishga qaratilgan chora-tadbirlar tizimi.

Ish o'rinlarini attestatsiyadan o'tkazish-bu ishlab chiqarish jarayonidagi barcha texnologik va ish joylaridagi zararli va xavfli omillarni aniqlash, ularning inson salomatligiga ta'sirini baholash va mehnat sharoitlarini gigiyenik normativlarga (SanPiN, davlat standartlari) muvofiqligini tekshirish orqali ish joylarini rasmiy baholash tizimi.

2. Tekshiriladigan asosiy omillar

Gigiyenik baholashda quyidagi to'rtta asosiy guruh tahlil qilinadi:

2. Fizik omillar-bu ish joyidagi tabiiy va sun'iy muhit parametrlariga bog'liq bo'lgan, xodimlarning sog'lig'iga va ish qobiliyatiga bevosita ta'sir etuvchi omillar.

Mikroiqlim-bu ish joyidagi havo harorati, namlik va havo harakati tezligi kabi omillar majmuasi bo'lib, xodimlarning termoregulyatsiyasi, ish qobiliyati va sog'lig'iga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

— **Havo harorati**-ish joyidagi havoning o'rtacha harorati, xodim organizmining normal termoregulyatsiyasini saqlash va qulay ishlash sharoitini ta'minlash uchun muhim hisoblanadi. Optimal harorat ishchi faoliyatini samarali olib borishga imkon yaratadi va charchash xavfini kamaytiradi. Odatda havo harorati yozda +20...+25 °C, qishda +18...+22 °C diapazonda bo'lishi tavsiya etiladi.

— **Havo namligi**-ish joyidagi havodagi suv bug'lari miqdori bo'lib, nafas olish qulayligi va teri holatiga ta'sir qiladi. Me'yoriy namlik xodimlarda qulaylikni ta'minlaydi, charchashni kamaytiradi va kasalliklarning oldini olishga yordam beradi. Optimal nisbiy namlik 40–60 % oralig'ida bo'lishi kerak.[10]

— **Havo harakati tezligi**-ish joyidagi havoning harakat tezligi, issiqlik tarqalishi va chang-havo

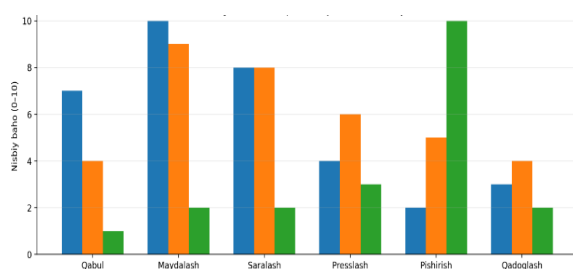
aralashmasining tarqalishiga ta'sir qiladi. Juda tez harakat etuvchi havo xodimlarda sovuqlik hissi, charchoq yoki nafas olish qiyinchiligiga olib kelishi mumkin. Ish joylarida havoning tezligi odatda 0,1-0,3 m/s bo'lishi tavsiya etiladi, ventilyatsiya zonalarida maksimal 0,5 m/s ruxsat etiladi.[2]

Yoritilganlik-bu ish joyidagi ish yuzasining yetarli darajada yoritilganligi bo'lib, xodimlarning ko'rish qobiliyati, charchash darajasi va ishlab chiqarish jarayonidagi xavfsizlikka bevosita ta'sir ko'rsatadi. Yetarli yoritilganlik xodimlarga ishni aniqlik bilan bajarish, noaniqlik va jarohat xavfini kamaytirish imkonini beradi.

Me'yoriy yoritilganlik darajasi ish turiga qarab belgilanadi: masalan, og'ir mexanik ishlarda 300-500 lx (lyuks), kichik detal ishlash yoki inspeksiya ishlari 500-1000 lx bo'lishi tavsiya etiladi. Shu bilan birga, yoritish bir xilda va soyasiz bo'lishi kerak, chiroq manbalaridan aks etish yoki qorong'ilik ish samaradorligini va xavfsizligini pasaytirmasligi lozim.[9]

Shovqin va vibratsiya-ish joyidagi ishlab chiqarish uskunalardan, transport tizimlaridan va mexanik jarayonlardan chiqadigan tovush va tebranishlarning umumiy ta'siridir. Bu omil xodimlarning eshitish qobiliyati, konsratsiyasi, ish unumdorligi va umumiy sog'lig'iga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Shovqin darajasi yuqori bo'lgan ish joylarida xodimlarda eshitish pasayishi, charchash, stress va yurak-qon tomir tizimi kasalliklari rivojlanishi mumkin. Vibratsiya esa qo'l va butun tana mushaklarida charchoq, titroq va mushak-skelet tizimi muammolariga olib kelishi mumkin.



2-rasm. Texnologik bosqichlar bo'yicha zararli omillarning nisbiy intensivligi

2-rasmda texnologik bosqichlar bo'yicha changlanish, shovqin-vibratsiya va termik yuklama omillarining nisbiy intensivligi keltirilgan. Diagrammadan ko'rinadiki, maydalash va saralash bosqichlarida chang hamda shovqin ko'rsatkichlari yuqori, pishirish bosqichida esa termik yuklama ustun hisoblanadi.

Me'yoriy ko'rsatkichlar:

- Ish joyidagi doimiy shovqin: maksimal 80 dB (A) smenada.
- Qisqa muddatli yuqori shovqin: 90-110 dB, lekin shaxsiy himoya vositalari bilan.

- Vibratsiya: qo'l va butun tana vibratsiyasi me'yoriy standartlarga muvofiq bo'lishi lozim, odatda 0,4 m/s² dan oshmasligi tavsiya etiladi.

Shovqin va vibratsiya xavfini kamaytirish uchun ish joylarini muhandislik choralar bilan optimallashtirish, uskunalarni shovqinsiz variantlari bilan jihozlash va shaxsiy himoya vositalaridan (quloqchin, rezina taglik, antivibratsion vositalar) foydalanish tavsiya etiladi.[13]

Elektromagnit nurlanish - bu ish joyidagi kompyuterlar, yuqori kuchlanishli uskunalar, aloqa vositalari va boshqa elektr qurilmalardan tarqaladigan elektromagnit maydonlar ta'siridir. Ushbu omil xodimlarning asab tizimi, ko'rish

qobiliyati, uyquasi va umumiy sog'lig'iga bevosita ta'sir qiladi.

Uzoq muddatli ta'sir natijasida xodimlarda bosh og'rig'i, charchoq, konsratsiyaning pasayishi, stress holatlari va boshqa sog'liq muammolari rivojlanishi mumkin.

Me'yoriy ko'rsatkichlar: Ish joyidagi elektromagnit maydonning maksimal ruxsat etilgan kuchlanishi va chastotasi SanPiN 2.2.4/2.1.8.562-96 va boshqa me'yoriy hujjatlarga muvofiq bo'lishi lozim.

Uzluksiz ta'sirga mo'ljallangan ish joylarida maydon darajasi xavfsizlik chegaralaridan oshmasligi kerak, ya'ni kuchlanish 25 V/m dan, magnit maydon 0,2 mT dan oshmasligi tavsiya etiladi.

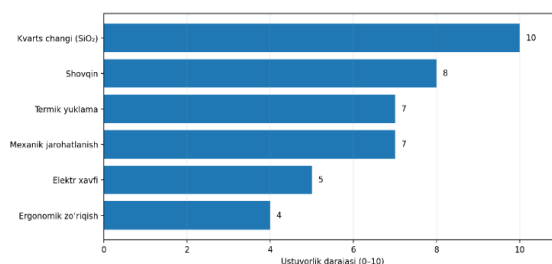
Elektromagnit nurlanish xavfini kamaytirish uchun uskunalarni optimal masofaga joylashtirish, ekranlar va ekranli uskunalarda shaffof himoya vositalaridan foydalanish va ish vaqtini tartibga solish tavsiya etiladi.[11]

B. Kimyoviy omillar-ish joyidagi havoda mavjud bo'lgan zararli moddalar, gazlar, bug'lar va aerozollar (jumladan chang) majmuasi bo'lib, xodimlarning nafas olish tizimi, teri va umumiy sog'lig'iga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Uzoq muddatli ta'sir natijasida kasb kasalliklari rivojlanishi, charchash darajasi oshishi va ish unumdorligi pasayishi mumkin.

Havo tarkibidagi gazlar va kimyoviy bug'lar nafas yo'llariga tushib, o'pka va respirator tizimining shikastlanishiga olib keladi. Aerozollar va chang, xususan SiO₂ (kvarts changi), uzoq muddat nafas olish natijasida o'pka to'qimalarini shikastlaydi va kasb kasalliklariga sabab bo'lishi mumkin.

Me'yoriy ko'rsatkichlar ish joyidagi zararli moddalar va gazlarning maksimal ruxsat etilgan konsratsiyasiga (PDK) mos bo'lishi lozim, qattiq chang (SiO₂) esa havoda maksimal 1 mg/m³ dan oshmasligi tavsiya etiladi.[3]

Kimyoviy omillar xavfini kamaytirish uchun ish joyini samarali ventilyatsiya tizimi bilan jihozlash, changni so'rib olish yoki namlash, shaxsiy himoya vositalari (respirator, himoya kiyim) va ishchilarni muntazam tibbiy ko'rikdan o'tkazish tavsiya etiladi.



3-rasm. Keramik plitka ishlab chiqarishda ustuvor xavf omillarining tarkibi

3-rasmda keramik plitka ishlab chiqarishdagi ustuvor xavf omillarining tarkibi ko'rsatilgan. Unda kvarts changi, shovqin, termik yuklama va mexanik jarohatlanish xavfi ishlab chiqarish gigiyenasi nuqtai nazaridan eng muhim omillar sifatida ajralib turadi.

D. Biologik omillar-ish joyidagi mikroorganizmlar, bakteriyalar, viruslar va zamburug'lar bilan xodimlarning bevosita yoki bilvosita aloqasi natijasida yuzaga keladigan xavflardir. Ushbu omillar, ayniqsa tibbiyot, qishloq xo'jaligi va oziq-ovqat sanoatida ish olib boriladigan sohalarida ahamiyatlidir.

Uzoq muddatli yoki yuqori konsratsiyadagi biologik omillarga ta'sir qilish natijasida xodimlarda infeksiya



kasalliklar, biologik reaksiyalar, immun tizimi zaiflashuvi va boshqa sog'liq muammolari rivojlanishi mumkin.

Xavfni kamaytirish choralari: ish joylarini muntazam dezinfeksiya qilish, himoya vositalaridan (qo'lqop, maska, himoya kiyim) foydalanish, ishchilarni profilaktik tibbiy ko'rikdan o'tkazish va biologik agentlar bilan ishlash bo'yicha maxsus yo'riqnomalarni joriy etish tavsiya etiladi.[8]

E. Mehnat jarayonining og'irligi va tarangligi- ishning xodim organizmiga jismoniy va ruhiy ta'siri bilan bog'liq bo'lgan parametrlar majmuasidir. Ushbu omillar ish samaradorligi, charchash darajasi va xodimlarning sog'lig'iga bevosita ta'sir qiladi.

1. **Og'irlik-ish** joyidagi jismoniy yuklama, yuk ko'tarish, uzoq muddat noqulay ish holatida ishlash va mushaklar tizimiga tushadigan ortiqcha bosimni o'z ichiga oladi. Jismoniy og'irlik ortishi xodimlarda charchoq, mushak-skelet tizimi muammolari va jarohatlanish xavfini oshiradi.

2. **Taranglik-ishning** ruhiy zo'riqishi, diqqatni jamlash talab qilishi va ko'rish a'zolariga tushadigan yuklamani bildiradi. Yuqori taranglik xodimlarda stress, charchash, diqqatning susayishi va ish unumdorligining pasayishiga olib keladi.

Xavfni kamaytirish choralari: og'ir jismoniy ishni mexanik vositalar bilan yengillashtirish, ish joyining ergonomikasini yaxshilash, ish vaqti va dam olish intervalini optimallashtirish, shuningdek ruhiy zo'riqishni kamaytirish uchun ishchilarni muntazam psixologik qo'llab-quvvatlash tavsiya etiladi.[11]

3. Baholash tartibi va bosqichlari

Mehnat sharoitlarini baholash odatda maxsus litsenziyaga ega laboratoriyalar yoki mutaxassislar tomonidan quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

4. **Inventarizatsiya-ish** joyidagi barcha potentsial zararli va xavfli omillarni ro'yxatga olish. Ushbu bosqichda har bir jarayon, uskunalar va ishchi pozitsiyalari ko'rib chiqiladi, xavf manbalari identifikatsiya qilinadi.[7]

5. **O'lchov ishlari-**maxsus asbob-uskunalar yordamida (lyuksometr, shumomer, dozimetr va boshqa o'lchov vositalari) real ish sharoitidagi parametrlar aniqlanadi. Bu bosqichda havo harorati, namlik, shovqin, vibratsiya, chang va zararli moddalar konsentratsiyasi kabi ko'rsatkichlar o'lchanadi.

6. 2-jadvalda mehnat sharoitlari gigiyenik tasnifi bo'yicha 4 sinfga ajratilib, ularning xodim organizmiga ta'siri umumlashtirilgan.

7. **Xulosa chiqarish-**barcha o'lchov va solishtirish natijalari tahlil qilinib, ish sharoitining xavf darajasi aniqlanadi va mehnat sharoitlarining sinfi belgilanadi (1-sinf: maqbul, 2-sinf: yo'l qo'yiladigan, 3-sinf: zararli, 4-sinf: xavfli).

8. Mehnat sharoitlarining tasnifi (Klasifikatsiyasi)

2-jadval

Ish muhitining xavf va zarar sinflari

Sinf	Tavsifi	Ta'siri
1-sinf (Maqbul)	Optimal sharoit	Ish qobiliyati saqlanadi, sog'liqqa zarar yetmaydi.

2-sinf (Yo'l qo'yiladigan)	Chegaraviy me'yor (PDK/PDU)	Ish smenasi davomida charchoq bo'lishi mumkin, dam olishda tiklanadi.
3-sinf (Zararli)	Me'yordan yuqori	Kasb kasalliklari kelib chiqishi xavfi bor.
4-sinf (Xavfli)	O'ta og'ir/Xavfli	Inson hayoti uchun xavfli yoki o'tkir kasallanish xavfi mavjud.

5. Huquqiy asoslar

O'zbekistonda ushbu jarayon quyidagi hujjatlar bilan tartibga solinadi:

- Mehnat kodeksi.
- "Mehnatni muhofaza qilish to'g'risida"gi Qonun.
- SanPiN №0339-16 (Ishlab chiqarish muhiti omillarining zararli va xavfli ko'rsatkichlari bo'yicha mehnat sharoitlarining gigiyenik tasnifi).[3]

Jarohatlovchi (xavfli) omil - bu ishlovchiga ma'lum sharoitda ta'sir ko'rsatib,

to'satdan shikastlanish, salomatlikning keskin yomonlashishi yoki o'limga olib kelishi mumkin bo'lgan mehnat jarayoni omilidir. Tahlil jarayonida barcha xavflar quyidagi to'rtta asosiy guruhga bo'linadi:

A. Mexanik omillar:

Eng ko'p tarqalgan jarohatlanish sabablari:

- Harakatlanuvchi qismlar: Mashina va mexanizmlarning ochiq uzatmalari (vallar, tishli g'ildiraklar).
- Uchib chiquvchi predmetlar: Kesish yoki silliqlash paytida uchib chiquvchi qirindilar, parchalar.
- Balandlikdan tushish: Ishchining balandlikdan yiqilishi yoki uning ustiga buyumlarning tushishi.[12]
- O'tkir qirralar: Uskuna va asboblarning o'tkir uchlari va g'adir-budir yuzalari.

B. Elektr tokining ta'siri:

- Kuchlanish ostidagi ochiq qismlarga tegib ketish.
- Izolyatsiyasi buzilgan elektr kabellari.
- Statik elektr to'planishi.

D. Termik omillar:

- Issiqlik: Qizigan yuzalar, qaynoq suyuqliklar yoki bug' bilan aloqa (kuyish).
- Sovuq: Past haroratli muhitda ishlash (muzlash).

E. Kimyoviy va Portlash xavfi:

- Zaharli moddalarning teriga tushishi yoki nafas yo'llariga kirishi.
- Yonuvchan gazlar va changlarning portlashi natijasida kelib chiqadigan jarohatlar.[14]

3. Tahlil qilish usullari (Metodologiya):

Jarohatlanish xavfini baholashda quyidagi tahlil usullaridan foydalaniladi:

1. Statistik tahlil: O'tmishda sodir bo'lgan baxtsiz hodisalarni o'rganib, "eng xavfli" ish joylarini aniqlash.
2. Topografik tahlil: Korxona xaritasi yoki sxemasida jarohatlanish ko'p sodir bo'ladigan hududlarni belgilash.
3. Grup tahlili: Jarohatlarni asbob-uskunalar turi, ishchilarning malakasi yoki yoshi bo'yicha guruhlash.



4. Monografik tahlil: Muayyan bir texnologik jarayonni (masalan, payvandlash) boshidan oxirigacha xavfsizlik nuqtai nazaridan tekshirish.[5]

4. Jarohatlanish sabablarining tasnifi

Tahlil natijasida jarohatlanishning tub sabablari aniqlanadi:

– Texnik sabablar: Uskunalarining nosozligi, himoya to'siqlarining yo'qligi, asboblarning eskirganligi.

– Tashkiliy sabablar: Ishchilarning yo'riqnomadan o'tmaganligi, mehnat intizomining buzilishi, ish joyining noto'g'ri tashkil etilishi.

– Psixofiziologik sabablar: Charchoq, diqqatning tarqoqligi, sog'liqdagi muammolar.[9]

5. Oldini olish choralari (Profilaktika)

3-jadval

Ish joyida xavfsizlikni ta'minlash choralarining tasnifi

Chora-tadbir	Tavsifi
Muhandislik choralari	Uskunalarini avtomatlashtirish, masofadan boshqarish, blokirovka tizimlarini o'rnatish.
Shaxsiy himoya vositalari (SHHV)	Kaska, maxsus kiyim, poyabzal, ko'zoynak va respiratorlardan foydalanish.
O'qitish va yo'riqnoma	Ishchilarni muntazam ravishda xavfsizlik texnikasi bo'yicha o'qitish va imtihon olish.
Tibbiy ko'rik	Xodimlarni ishga kirishdan oldin va davriy ravishda tekshiruvdan o'tkazish.

3-jadvalda muhandislik, tashkiliy va tibbiy-profilaktik choralar tizimlashtirilgan bo'lib, ular ishlab chiqarishdagi xavfli va zararli omillarning oldini olishda kompleks yondashuvni ifodalaydi.

3. Xulosa

Ushbu ilmiy tadqiqotda keramik plitka ishlab chiqarish korxonalaridagi texnologik jarayonlar mehnat xavfsizligi va ishlab chiqarish gigiyenasi nuqtai nazaridan kompleks tahlil qilindi. Tadqiqot davomida ishlab chiqarishning asosiy bosqichlari – xomashyoni qabul qilish va tayyorlash, maydalash, saralash, shakllantirish, pishirish hamda qadoqlash jarayonlarida yuzaga keladigan xavfli (jarohatlovchi va zararli) ishlab chiqarish omillari aniqlanib, ularning ishchilar salomatligiga ta'siri qiyosiy tahlil asosida o'rganildi.

Tahlil natijalariga ko'ra, keramik plitka ishlab chiqarish jarayonida eng muhim zararli omillar sifatida changni yuqori konsentratsiyasi, shovqin, vibratsiya, yuqori haroratli mikroiklim, termik nurlanish hamda mexanik jarohatlanish xavflari aniqlangan. Ayniqsa xomashyoni maydalash va saralash bosqichlarida hosil bo'ladigan kvarts aerozollari ishlab chiqarish muhitining eng xavfli (zararli) omillaridan biri hisoblanadi. Ushbu aerozollar uzoq muddat ta'sir

etganda nafas olish tizimi kasalliklari, jumladan kasbiy silikoz va bronxial kasalliklar rivojlanishiga sabab bo'lishi mumkin.

Bundan tashqari, maydalagichlar, saralovchi uskunalar va transport tizimlari ishlashi jarayonida hosil bo'ladigan 90–110 dB darajadagi shovqin hamda vibratsiya ishchilarning eshitish organlari va markaziy asab tizimiga salbiy ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Ushbu omillar uzoq muddat davomida ta'sir etganda ishchilar salomatligiga zarar yetkazishi hamda ishchilarni kasb kasalliklariga chalinishi tufayli, ishlab chiqarish samaradorligining pasayishiga olib kelishi mumkin.[14]

Keramik plitkalarini pishirish jarayonida esa yuqori harorat va termik nurlanish ustunlik qiladi. Bunday mehnat sharoitlarda ishlash ishchilar organizmida issiqlik yuklamasining ortishiga olib keladi va bu esa tez charchash, organizmni suvsizlanishi hamda issiqlik zarbasi xavfini oshiradi. Shu bilan birga konveyer tizimlari, press uskunalar va boshqa harakatlanuvchi mexanizmlar bilan ishlash jarayonida mexanik jarohatlanish ehtimoli ham yuqori darajada saqlanib qoladi.

O'tkazilgan qiyosiy tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, keramik plitka ishlab chiqarish korxonalarida mehnat sharoitlari ko'pincha gigiyenik tasnif bo'yicha zararli mehnat sharoitlari (3-sinf) toifasiga kiradi. Shu sababli ishlab chiqarish jarayonlarida mehnat muhofazasi tizimini takomillashtirish, texnologik jarayonlarni modernizatsiya qilish hamda zamonaviy muhandislik va gigiyenik himoya choralarini joriy etish muhim ahamiyatga ega. Ishlab chiqarish muhitidagi xavfli (jarohatlovchi va zararli) omillarni salbiy ta'sirini kamaytirish orqali korxona ishchilarning mehnat qobiliyatini tiklanishi ishlab chiqarish natijalari samaradorligini oshirishini ta'minlaydi.[15]

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi. Mehnat kodeksi. – Toshkent: Adolat, 2023.
- [2] O'zbekiston Respublikasi. “Mehnatni muhofaza qilish to'g'risida”gi Qonun. – Toshkent, 2016.
- [3] SanPiN №0339-16. Ishlab chiqarish muhiti omillarining zararli va xavflilik ko'rsatkichlari bo'yicha mehnat sharoitlarining gigiyenik tasnifi. – Toshkent, 2016.
- [4] Sulaymanov S.S, Saidov D., Batirova M. Occupational Safety Management System in Manufacturing Enterprises: A Program for Creating a Conceptual Model for Risk Assessment and Analysis. – International Journal of Artificial Intelligence, 2025.
- [5] Sulaymanov S.S, Saidov D., Batirova M. Korxonalarda mehnat muhofazasini tashkil etish va operativ boshqaruv tizimi samaradorligini oshirishga innovatsion yondashuv. – Ilmiy maqola, 2024.
- [6] Абдуллаев А.А., Турсунов Б.Т. Мехнат муҳофазаси ва техника хавфсизлиги. – Тошкент: ТДТУ нашриёти, 2019.
- [7] Кодиров А.А., Норматов Ш.Н. Хаёт фаолияти хавфсизлиги. – Тошкент давлат техника университети, 2020.
- [8] Камилов Х.М. Темир йўл транспортида меҳнат хавфсизлиги. – Тошкент давлат транспорт университети, 2021.
- [9] Мусаев Ш.Г., Хамроева М.А. Ishlab chiqarishda mehnat muhofazasi va baxtsiz hodisalar tahlili. – Toshkent davlat transport universiteti ilmiy maqolasi.



[10] Гайбназаров С.Б. Ишлаб чиқариш бинолари ва иш жойларининг микроклими. – Тошкент давлат техника университети илмий ишлари.

[11] Yormatov G., Yuldashev O. Hayot faoliyati xavfsizligi. – Toshkent: Aloqachi, 2009.

[12] G‘oyipov H.E. Mehnat muhofazasi. – Toshkent: Mehnat nashriyoti, 2003.

[13] Smith J., Brown L. Occupational Safety in Ceramic Industry. – Journal of Industrial Safety, 2021.

[14] Wang Y., Li H. Dust Emission and Control in Ceramic Tile Manufacturing. – Journal of Cleaner Production, 2020.

[15] International Labour Organization (ILO). Safety and Health in the Use of Chemicals at Work. – Geneva, 2019.

Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot/ Information about the authors

Sulaymanov Sunnatulla / Sunnatulla Sulaymanov	Toshkent davlat transport universiteti “Texnosfera xavfsizligi” kafedrası professori, t.f.d., professor.
--	---

E-mail: ssulayman@mail.ru

Tel.: +998977755179

<https://orcid.org/0000-0001-5275-5200>

Erdonova Nazokat / Nazokat Erdonova	Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti “Hayot faoliyati xavfsizligi” kafedrası assistent.
---	---

E-mail: nazokat0926@gmail.com

Tel: +998947254445

<https://orcid.org/0009-0000-7875-8266>



Classification of factors affecting the tires of road transport vehicles operated under the conditions of JSC “Almalyk MMC”

B.I. Abdullaev¹^a, A.R. Kholmatov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article provides a systematic classification of the factors affecting the tires of road transport vehicles operated under the conditions of the large mining and industrial complexes of JSC “Almalyk MMC”. The relevance of the study lies in the fact that the tires of dump trucks, loaders, truck cranes, and auxiliary transport vehicles operating on quarry roads, in crushing and screening areas, storage yards, loading and dispatch zones, and maintenance points are exposed to significantly higher abrasive, dynamic, thermal, and mechanical loads than tires used on ordinary motor roads. The study evaluates road surface abrasiveness, road gradient, turning radius, sharp stones and debris, moisture, internal air pressure, load distribution, driving style, speed regime, and tire temperature as the main influencing factors. The results show that tire service life depends not only on mileage, but also directly on rubber aging, heat accumulation, the risk of cuts and punctures, road geometry, and maintenance discipline. Based on the findings, road maintenance, operational, and technical management recommendations aimed at extending tire service life were developed.

Keywords: quarry transport, OTR (Off-The-Road) tires, tire service life, abrasive wear, thermal regime, turning radius, internal pressure, technological roads, mining dump truck, operational factors

«Olmalik KMK» AJ sharoitida ekspluatatsiya qilinayotgan avtomobil transport vositalari shinalariga ta'sir qiluvchi omillar tasnifi

Abdullayev B.I.¹^a, Xolmatov A.R.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada “Olmalik KMK” AJ yirik tog'-kon va ishlab chiqarish majmualari sharoitida ekspluatatsiya qilinayotgan avtomobil transport vositalari shinalariga ta'sir etuvchi omillar tizimli tasnif qilindi. Tadqiqotning dolzarbligi shundan iboratki, karer yo'llari, maydalash-saralash hududlari, ombor maydonlari, yuklash-jo'natish zonalari va texnik xizmat ko'rsatish punktlarida harakatlanadigan samosval, yuklagich, avtokran hamda yordamchi transport vositalari shinalari oddiy avtomobil yo'llaridagi shinalarga nisbatan ancha yuqori abraziv, dinamik, termik va mexanik yuklamalarda ishlaydi. Ishda yo'l qoplamasining abrazivligi, yo'l nisabligi, burilish radiusi, o'tkir tosh va chiqindilar, namlik, ichki havo bosimi, yuk taqsimoti, haydash uslubi, tezlik rejimi hamda shina harorati asosiy ta'sir etuvchi omillar sifatida baholandi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, shina resursi faqat bosib o'tilgan masofaga emas, balki rezinaning eskirishi, issiqlik to'planishi, kesilish va teshilish xavfi, yo'l geometriyasi hamda texnik xizmat intizomiga ham bevosita bog'liq. Tadqiqot yakunida shina resursini uzaytirishga qaratilgan yo'l xo'jaligi, ekspluatatsion va texnik boshqaruv tavsiyalari ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: karer transporti, OTR (Off-The-Road tires) shinalar, shina resursi, abraziv yeyilish, issiqlik rejimi, burilish radiusi, ichki bosim, texnologik yo'llar, kon samosvali, ekspluatatsion omillar

1. Kirish

Tog'-kon ishlab chiqarish tizimida transport vositalari azluksiz texnologik zanjirning eng faol bo'g'inlaridan biri hisoblanadi. Xom ashyo qazib olish, tog' jinslarini maydalash va saralash, tayyor mahsulotni omborlash, yuklash va iste'molchiga jo'natish jarayonlarining har biri transportning barqaror ishlashini talab qiladi. Bunday tizimda shina transport vositasining yo'l bilan bevosita aloqa qiluvchi, yukni ko'taruvchi, tortish kuchini uzatuvchi va zarbalarni qabul qiluvchi elementi sifatida alohida ahamiyatga ega.

“Olmalik KMK” AJ sharoitida ishlatiladigan maxsus transportlar turli ishlab chiqarish hududlaridan o'tadi: ishchi qazib olish zonasi, maydalash va saralash hududi, chaqiq tosh va qum-shag'al uyumlari joylashgan omborxona, tayyor mahsulotni yuklash maydoni, texnik xizmat ko'rsatish va yoqilg'i quyish punktlari. Ushbu zonalar har birida yo'l yuzasi, harakat tezligi, yuklanish darajasi, burilishlar soni, qiyalik va namlik rejimi turlicha bo'ladi. Natijada bir xil shina modeli turli hududlarda turlicha xizmat muddati ko'rsatishi mumkin.

Karer sharoitida shinalarning xizmat muddati oddiy avtomobil yo'llaridagiga nisbatan sezilarli darajada qisqa bo'lishi amaliy kuzatuvlar bilan izohlanadi. Bunga, avvalo,

 <https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>



tog' jinslari va chaqiq toshning yuqori abrazivligi, o'tkir qirrali fraksiyalarning protektor va yon devorga zarba berishi, yo'l notekisligi tufayli shina karkasining takroriy deformatsiyalanishi, ortiqcha yuklanish va ichki issiqlikning ortishi sabab bo'ladi. Shina harorati me'yordan oshganda rezina va kord orasidagi bog'lanish zaiflashadi, protektor qatlamining ko'chishi hamda karkas buzilishi xavfi ortadi.

Shinalarning muddatidan oldin ishdan chiqishi ishlab chiqarish jarayoniga ikki tomonlama salbiy ta'sir ko'rsatadi. Birinchidan, shina xarid qilish, almashtirish, ta'mirlash va utilitatsiya qilish xarajatlari ortadi. Ikkinchidan, transport vositasining bekor turib qolishi qazib olish, tashish yoki yuklash jarayonida uzilish keltirib chiqaradi. Ayniqsa karer samosvallari va yuklagichlarida bir dona yirik o'lchamli shinaning ishdan chiqishi butun texnologik oqimning unumdorligini pasaytirishi mumkin.

Taqdim etilgan materiallarda shina resursiga ta'sir etuvchi omillar keng ko'lamda ko'rsatilgan: yo'l qoplamasining abrazivligi, nishablik, o'tkir toshlar, issiqlik rejimi, namlik, burilish radiusi, ichki bosim, haydash uslubi va yuklash tartibi. Ushbu omillar alohida-alohida emas, balki o'zaro bog'langan kompleks tizim sifatida ishlaydi. Masalan, yo'l qiyaligi ortganda dvigatel tortish rejimi va tormozlanish kuchayadi, bu shinaning deformatsiyasini, sirpanishini va qizishini oshiradi; namlik esa o'tkir toshning rezinaga kirishini osonlashtirib, kesilish xavfini kuchaytiradi.

Shina yeyilishi ko'pincha faqat protektor balandligi kamayishi bilan izohlanadi. Ammo karer sharoitida yemirilishning kesilish, yulinish, yon devor shikastlanishi,

kord uzilishi, delaminatsiya, teshilish va issiqlikdan buzilish kabi shakllari mavjud. Shu sababli shinalar resursini baholashda faqat kilometr ko'rsatkichi emas, balki yo'l turi, yuklanish sikli, harorat, qiyalik, burilishlar, bosim va texnik xizmat sifati birgalikda hisobga olinishi zarur [1].

Tadqiqot dolzarbligi shina resursini uzaytirish orqali ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, transport xavfsizligini oshirish va texnologik jarayonning uzluksizligini ta'minlash ehtiyoji bilan belgilanadi. Mazkur maqola amaliy kuzatuvlar asosida omillarni tizimlashtirishga, ta'sir mexanizmini tushuntirishga va konsalport xo'jaligi uchun aniq tavsiyalar ishlab chiqishga qaratilgan.

Texnologik ishlab chiqarish hududlari deganda karer ichidagi va unga tutash bo'lgan, qazib olishdan tayyor mahsulotni jo'natishgacha bo'lgan harakatni ta'minlovchi zonalar majmui tushuniladi. Bular ishchi qazib olish maydoni, maydalash-saralash qurilmalari joylashgan hudud, ochiq omborxona, yuklash platformalari, vaqtinchalik ish zonalar, laboratoriya-nazorat punktlari, texnik xizmat ko'rsatish bazalari va yoqilg'i quyish shoxobchalarini o'z ichiga oladi.

Ishchi zonada shina o'tkir qirrali tog' jinslari ustida past tezlikda, lekin yuqori moment va og'ir yuk ostida ishlaydi. Maydalash-saralash hududida mayda fraksiyalik toshlar, chang va notekisliklar protektor tishlari orasiga kirib, abraziv yeyilish va yulinish jarayonini kuchaytiradi. Ombor hududida esa tez-tez burilish, orqaga yurish, yuklash va to'xtash sikllari shina yon devoriga va protektor chetlariga qo'shimcha zo'riqish beradi (1-jadval).

1-jadval

Texnologik hududlar bo'yicha shinalarga asosiy ta'sirlar

Hudud	Asosiy yo'l sharoiti	Shina uchun xavf	Boshqaruv choras
1	2	3	4
Qazib olish zonasi	O'tkir jinslar, notekis yuza	Kesilish, teshilish, yon devor shikasti	Toshlarni tozalash, mustahkam protektor
Maydalash-saralash	Mayda fraksiya, chang, zarba	Abraziv yeyilish, chipping	Muntazam greyderlash va sug'orish nazorati
Ombor maydoni	Ko'p burilish va orqaga yurish	Yonlama kuch, protektor yulinishi	Radiusni kengaytirish, tezlikni cheklash
Yuklash-jo'natish	Takroriy qatnov, yukli rejim	Qizish, ortiqcha deformatsiya	Yukni me'yorlash va bosim nazorati
Texnik xizmat zonasi	Diagnostika va ta'mirlash	Noto'g'ri bosim, kech aniqlash	Rejali nazorat va qayd jurnali

Tayyor mahsulotni jo'natish hududlarida transportlar ko'pincha bir xil yo'nalishda takroriy qatnaydi. Bunday rejimda yo'lning ma'lum nuqtalarida chuqur, to'liq, tosh to'planishi yoki suv yig'ilishi doimiy shikastlanish manbaiga aylanadi. Texnik xizmat ko'rsatish hududlarida esa shinalarni ko'zdan kechirish, bosimni nazorat qilish, teshilishlarni aniqlash va profilaktik almashtirish ishlari vaqtda bajarilsa, butun ekspluatatsion tizimning ishonchligi oshadi [2].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot materiallari sifatida karer va texnologik ishlab chiqarish hududlarida shinalarning ishlashiga oid ma'lumotlar, ekspluatatsion kuzatuvlar, ta'sir etuvchi omillar ro'yxati va shina resursiga doir sifat hamda miqdoriy ko'rsatkichlar qabul qilindi. Ma'lumotlar tizimlashtirilganda shinalarning ishdan chiqishi faqat bitta sabab bilan emas, balki yo'l, texnika, iqlim, yuklanish va boshqaruv omillarining kombinatsiyasi bilan izohlanishi inobatga olindi.

Metodik yondashuv uch bosqichdan iborat bo'ldi. Birinchi bosqichda ishlab chiqarish hududlari funksional zonalariga ajratildi. Ikkinchi bosqichda har bir zonada shinalarga ta'sir qiluvchi omillar fizik-mexanik mazmuniga ko'ra guruhlandi. Uchinchi bosqichda omillar shina resursiga ta'sir mexanizmi, kutiladigan shikastlanish turi va kamaytirish choras bo'yicha baholandi.

Omillarni tasniflashda besh asosiy guruh ajratildi: yo'l-geometrik omillar, yo'l yuzasi va material omillari, termik-iqlim omillari, texnik-ekspluatatsion omillar va tashkiliy-boshqaruv omillari. Bunday tasnif shinalar ishonchligini faqat ta'mirlash masalasi sifatida emas, balki yo'l xo'jaligi, texnik xizmat, haydovchi intizomi va ishlab chiqarish logistikasini birlashtiruvchi tizimli masala sifatida ko'rish imkonini beradi [3].

Baholashda shina xizmat muddatining qisqarishi haqidagi mavjud ko'rsatkichlar shartli diagnostik indikator sifatida qo'llandi. Masalan, shag'alli va abraziv yo'llarda protektor yeyilishi 30–70% gacha tezlashishi, 6% nishabli yo'lda resurs ikki baravargacha kamayishi, 10–12% qiyalikda shina umrining 36% ga qisqarishi, harorat 110°C



dan oshganda rezina mustahkamligining keskin pasayishi kabi ma'lumotlar ta'sir darajasini sifat jihatdan solishtirish uchun ishlatildi.

Yo'l-geometrik omillarga qiyalik, burilish radiusi, yo'lining ko'ndalang qiyaligi, notekislik, chuqur va to'liqlar kiritildi. Bu omillar shina bilan yo'l orasidagi kontakt maydonini, normal va yonlama kuchlarni, sirpanish miqdorini hamda karkas deformatsiyasini belgilaydi. Ayniqsa kichik radiusli burilishlarda markazdan qochma kuch transport og'irligini tashqi shinalarga ko'chiradi va protektor tishlarining ko'ndalang siljishiga sabab bo'ladi [4].

Yo'l yuzasi va material omillari tog' jinslarining qattiqligi, o'tkirliigi, fraksiyasi, shag'al, chaqiq tosh, qum-

shag'al aralashmasi, loy va suv mavjudligi bilan tavsiflanadi. Abraziv material protektor qatlamini mexanik qirqadi; o'tkir jinslar kordga yetib boradigan kesilish yoki teshilishlarni yuzaga keltiradi; namlik esa sirpanishni oshirib, rezinaning kesilishga qarshiligini kamaytiradi.

Termik-iqlim omillari shina ichidagi issiqlik to'planishi, atrof-muhit harorati, quyosh nuri, rezinaning oksidlanishi va eskirishini qamrab oladi. Og'ir yuk ostida shina takroriy egilib-tiklanadi; bu jarayonda mexanik energiyaning bir qismi issiqlikka aylanadi. Agar issiqlik tashqi muhitga chiqarilmasa, karkas, breker va protektor qatlamlari orasida adgeziya zaiflashadi (2-jadval).

2-jadval

Ta'sir omillarini tasniflash mezonlari			
Omilar guruhi	Mezon	Natija	Nazorat ko'rsatkichi
1	2	3	4
Yo'l-geometrik	Qiyalik, radius, viraj	Yonlama kuch, qizish	% qiyalik, radius, tezlik
Yuza-material	Tosh o'tkirliigi, abrazivlik	Kesilish, protektor yeyilishi	Yo'l tozaligi, fraksiya
Termik-iqlim	Harorat, quyosh, oksidlanish	Delaminatsiya, rezina eskirishi	Shina harorati, mavsum
Texnik	Bosim, yuk, osma holati	Notekis yeyilish, karkas zo'riqishi	Bosim, yuk massasi
Tashkiliy	Haydash uslubi, servis jadvali	Muddatidan oldin ishdan chiqish	Reyd nazorati, jurnal

Tasniflash natijalaridan keyingi tahlilda har bir omil shikastlanish turi bilan bog'landi. Bunda protektor yeyilishi, chipping, chunking, yon devor kesilishi, teshilish, ichki qizish, qatlamlarga ajralish va karkas deformatsiyasi asosiy diagnostik belgilar sifatida qaraldi.

Shinalarga ta'sir qiluvchi omillarni baholashda sabab-oqibat zanjiri tamoyili qo'llandi. Masalan, yo'l qoplamasining abrazivligi avvalo kontakt yuzasida ishqalanish koeffitsiyentini va mikroqir qilish jarayonini oshiradi; bu protektor tishlarining notekis yeyilishiga, keyinchalik issiqlik to'planishi va shina balansining buzilishiga olib keladi. Xuddi shunday, noto'g'ri ichki bosim shinalarning kontakt dog'ini o'zgartiradi: past bosim yon devor egilishini, yuqori bosim esa protektor markazining tez yeyilishini keltirib chiqaradi [5].

Baholash algoritmidagi quyidagi ketma-ketlik qabul qilindi: hududni aniqlash, yo'l sharoitini tavsiflash, transport turi va yuk rejimini belgilash, shikastlanish belgilarini qayd etish, asosiy omilni ajratish, ikkilamchi omillarni aniqlash va profilaktik chorani tanlash. Bu ketma-ketlik amaliy diagnostika uchun qulay, chunki shina shikasti ko'pincha bir nechta omil bir vaqtda ta'sir qilganida yuzaga keladi [6].

Samosvallar uchun asosiy indikatorlar qiyalik, yuk massasi, tormozlanish rejimi va shina harorati bo'lsa, yuklagichlarda sirpanish, kesilish va yon devor shikasti ko'proq ahamiyatga ega. Avtokran va vaxtovkalarida esa aralash yo'l sharoiti, ichki bosim va og'irlik markazining o'zgarishi muhim hisoblanadi. Shu sababli har bir transport turi uchun yagona profilaktika emas, balki vazifaga mos shina tanlash va ekspluatatsion reglament zarur (3-jadval).

3-jadval

Shikastlanish belgisi bo'yicha ehtimoliy sababni aniqlash		
Shikastlanish belgisi	Ehtimoliy asosiy sabab	Birinchi choralar
1	2	3
Protektor markazi tez yeyilishi	Ortiqcha ichki bosim	Bosimni me'yoriy qiymatga keltirish
Yon devor qizishi va yorilishi	Past bosim yoki ortiqcha yuk	Yuk va bosimni birgalikda tekshirish
Tishlarning yulinishi	Kichik radiusli burilish, o'tkir tosh	Tezlikni kamaytirish va yo'lni tozalash
Kesilish va teshilish	O'tkir jinslar, namlik	Greyderlash, himoyalangan protektor
Qatlamlarga ajralish	Kritik qizish, uzun yukli sikl	Harorat va tezlik limitini nazorat qilish

3. Natija va muhokamalar

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, karer yo'llarining holati shina resursiga eng kuchli ta'sir etuvchi omillardan biridir. Tog' jinslari, chaqiq tosh va shag'alli qoplamalar asfalt qoplamaga nisbatan ancha abraziv bo'lib, shina protektorida mikroqir qilish, silliq qilish va tishlar chetining yemirilishini tezlashtiradi. Abraziv muhitda shina faqat dumalanmaydi, balki yo'l yuzasidagi qattiq zarralar bilan doimiy kesilish va qir qilish jarayonida ishlaydi.

Shag'alli yo'llarda protektor yeyilishi 30–70% gacha tezlashishi mumkinligi shina resursini rejalashtirishda muhim ko'rsatkichdir. Bu degani, bir xil transport vositasi

tekis va toza yo'lda belgilangan resursni ko'rsatsa, o'tkir fraksiyalı shag'al ustida ishlaganda xizmat muddati sezilarli qisqaradi. Ayniqsa maydalash-saralash hududida mayda, lekin o'tkir qirralı zarralar protektor kanallariga kirib qoladi va har bir aylanishda rezina qatlamini zaiflashtiradi [7].

Yo'l yuzasidagi o'tkir toshlar va chiqindilar shinalarning eng xavfli dushmanlaridan biridir. Ular protektorni kesishi, yon devorni yorishi yoki kord qatlamiga yetib boradigan chuqur shikastlanish hosil qilishi mumkin. Bunday shikastlar ko'pincha oddiy yeyilishdan farqli ravishda to'satdan ishdan chiqishga olib keladi. Natijada transport vositasi rejalashtirilmagan ta'mirga to'xtaydi va ishlab chiqarish jarayoni uziladi.



Abraziv muhit ta'siri faqat yo'l materiali bilan cheklanmaydi. Yuklama, tezlik va burilishlar bilan birgalikda u yanada kuchayadi. Masalan, ortiqcha yuklangan samosval qattiq shag'alli qiyalikda harakatlanganda protektor tishlari yo'l yuzasiga katta bosim bilan kiradi; tormozlanish yoki tezlanish paytida esa ishqalanish sirpanishga aylanib, yeyilish tezligini oshiradi [8].

Yo'ning nishabligi shina resursiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Qiyalik ortgan sari transport vositasi tortish kuchini ko'proq talab qiladi, shina kontakt yuzasida tangensial kuchlar ortadi, sirpanish ehtimoli kuchayadi va ichki issiqlik hosil bo'lishi jadallashadi. Taqdim etilgan ma'lumotlarga ko'ra, 6% nishabli yo'lda ishlayotgan samosval shinalarining resursi tekis yo'lga nisbatan ikki baravargacha kamayishi mumkin.

Yo'l qiyaligi 10% dan oshganda resursning keskin qisqarishi kuzatiladi. 10–12% qiyalik shina umrini 36% ga kamaytirishi mumkinligi nishablikni loyihalash va ekspluatatsion nazorat qilish zarurligini ko'rsatadi. Yuk bilan pastga harakatlanishda tormozlanish kuchayadi; shina protektori yo'l yuzasi bilan ko'proq ishqalanadi; issiqlik tarqalishga ulgurmaydi. Shuning uchun qiyalik faqat yo'l geometriyasi emas, balki shina issiqlik rejimini boshqaruvchi omil hamdir [9].

Kichik radiusli burilishlar shinalar uchun og'ir rejimlardan biri hisoblanadi. Burilish paytida markazdan qochma kuch transport og'irligini tashqi g'ildiraklarga ko'chiradi, shina yon devori egiladi, protektor tishlari esa yo'l yuzasiga nisbatan ko'ndalang siljiydi. Bu jarayon odatiy dumalanishdan farq qiladi va rezina qatlamining mexanik yulinishi, chipping hamda chunking holatlarini keltirib chiqaradi.

Burilish radiusiga mos ko'ndalang qiyalik, ya'ni viraj tashkil etilishi markazdan qochma kuchning bir qismini kompensatsiya qiladi. Yo'ning tashqi tomoni ichki tomoniga nisbatan balandroq qilib qurilganda transportning burilishdagi barqarorligi ortadi, yonlama kuchlar kamayadi va tashqi shinalarga tushadigan differensial yuklama pasayadi. Shu sababli karer yo'llarida burilishlarni kengaytirish, virajni to'g'ri berish va tezlikni 10–15 km/soat darajasida cheklash muhim profilaktik choralar qatoriga kiradi.

Og'ir yuk ostida ishlaydigan shinalar uchun issiqlik eng xavfli omillardan biridir. Shina har bir aylanishda egiladi va qayta tiklanadi; rezina histerezi natijasida energiyaning bir qismi issiqlikka aylanadi. Notekis yo'l, chuqurlar, ortiqcha yuk, past ichki bosim va yuqori tezlik bu jarayonni kuchaytiradi. Agar hosil bo'lgan issiqlik tashqariga chiqarilmasa, shina ichida harorat to'planadi [10].

Ma'lumotlarga ko'ra, shina harorati 110°C dan oshganda rezining mexanik xususiyatlari yomonlashadi va mustahkamlik keskin kamayadi. 110–120°C oralig'ida og'ir shinalar uchun kritik rejim sifatida qaraladi, chunki bu bosqichda protektorning ko'chishi, qatlamlarga ajralish va karkas buzilishi xavfi ortadi. Haroratning har 1°C ga ortishi yeyilish tezligini taxminan 2% ga oshirishi mumkinligi shina monitoringi zarurligini ko'rsatadi.

Ortiqcha yuklash shinalarning haddan tashqari zo'riqishiga olib keladi. Yukning noto'g'ri taqsimlanishi ma'lum o'qdagi shinalarni ikki barobar tezroq yeyishi mumkin. Kranlarda og'irlik markazining siljishi, samosvallarda yukning kuzov bo'yab notekis joylashishi, yuklagichlarda kovshdagi massa va ishchi siklning keskinligi shina deformatsiyasini oshiradi. Natijada protektor chetlari yemiriladi, yon devor zo'riqadi va karkas resursi kamayadi.

Haydash uslubi ham muhim omildir. Keskin tezlanish, qattiq tormozlanish, yuqori tezlikda burilish va nam yoki loy yo'lda g'ildirakning aylanib ketishi protektor yeyilishini tezlashtiradi. Sirpanish jarayonida shina dumalashdan ko'ra ishqalanib siljiydi; bu esa protektor yuzasida mahalliy qizish va rezina qirqilishini kuchaytiradi.

Transport turlari bo'yicha muammolar ham farqlanadi. Kon samosvallarida issiqlik to'planishi va qiyalikdagi yukli harakat asosiy xavf bo'lsa, ekskavator va yuklagichlarda o'tkir jinslar ustida ishlash, past tezlikda yuqori moment, sirpanish va yon devor kesilishi ko'proq uchraydi. Avtokran va vaxtovkallarda esa aralash yo'l sharoiti, noto'g'ri bosim va og'irlik markazining o'zgarishi shina umrini qisqartiradi.

Muhokama

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, shina resursini boshqarish faqat shina tanlash yoki almashtirish masalasi emas. Bu yo'l xo'jaligi, transport logistikasini rejalashtirish, haydovchi intizomi, yuklash nazorati va texnik xizmat ko'rsatishni birlashtiruvchi kompleks boshqaruv jarayonidir. Agar karer yo'llari muntazam greyderlanmasa, o'tkir toshlar vaqtida olib tashlanmasa va suv yig'ilishining oldi olinmasa, hatto eng mustahkam OTR shinalar (Off-The-Road tires) iborasining qisqartmasi bo'lib, yo'ldan tashqari og'ir sharoitlarda ishlatiladigan maxsus shinalardir ham qisqa muddatda shikastlanishi mumkin.

Yo'l omillari ichida qoplama abrazivligi, qiyalik va burilish radiusi eng kuchli ta'sirga ega. Bular shina kontakt zonasida bir vaqtda normal, tangensial va yonlama kuchlarni oshiradi. Shu sababli burilishlarni kengaytirish, virajni to'g'ri tashkil etish, qiyaliklarni me'yoralash va tezlikni cheklash shina resursini uzaytirishning birlamchi yo'nalishlari hisoblanadi. Ayniqsa doimiy qatnov yo'nalishlari bo'yicha yo'l pasportini yuritish amaliy jihatdan foydali bo'ladi.

Texnik omillar ichida bosim va yuklanish eng tez nazorat qilinadigan ko'rsatkichlardir. Bosim nazorati tizimi mavjud bo'lmagan sharoitda ham smena oldidan va smena yakunida o'lchov jurnali yuritilishi shina ishdan chiqishini kamaytirishi mumkin. Yuklash intizomi esa dispetcherlik va operator mas'uliyati bilan bog'liq: me'yordan ortiq yuk qisqa muddatli unumdorlik bergandek ko'rinsa-da, shina, osma, tormoz va yo'l qoplamasiga tushadigan umumiy zararni oshiradi.

Muhokama shuni ko'rsatadiki, shina tanlashda faqat narx yoki o'lchamga tayanish yetarli emas. Karer sharoitida protektor chuqurligi, kesilishga chidamlilik, issiqlikka bardoshlilik, yon devor mustahkamligi va vazifaga mos protektor turi hisobga olinishi kerak. Masalan, o'tkir toshli hududlar uchun kesilishga chidamli, og'ir yukli uzun qatnovlar uchun issiqlikka bardoshli, kichik radiusli burilish ko'p bo'lgan hududlar uchun yon devori kuchaytirilgan shinalar afzal bo'ladi [11].

Shina resursini uzaytirish uchun chora-tadbirlar uch darajada tashkil etilishi maqsadga muvofiq: yo'l infratuzilmasi darajasi, transport ekspluatatsiyasi darajasi va texnik servis darajasi. Yo'l infratuzilmasi darajasida greyderlash, o'tkir toshlarni tozalash, suv qochirish, burilish radiuslarini kengaytirish va viraj hosil qilish zarur. Transport ekspluatatsiyasi darajasida tezlik limitlari, yuk me'yori, haydash uslubi va qatnov yo'nalishlari nazorat qilinadi. Texnik servis darajasida bosim, harorat, protektor holati va shikastlar qayd etiladi.

Tavsiya etiladigan nazorat tizimi oddiy jurnal shaklida boshlanishi mumkin. Unda transport raqami, shina o'mi, bosim, harorat, protektor qoldig'i, aniqlangan kesilish yoki teshilish, ishlagan zona, haydovchi va ko'rilgan chora qayd qilinadi. Bunday ma'lumotlar keyinchalik qaysi hududda



shina shikastlari ko'p uchrashini, qaysi haydovchi yoki transport turida yeyilish tezligini, qaysi yo'l uchastkasida ta'mirlash zarurligini aniqlash imkonini beradi (4-jadval).

4-jadval

Amaliy profilaktika choralari kutiladigan samarasi

Chora-tadbirlar	Ta'sir qiladigan omil	Kutiladigan natija	Mas'ul bo'linma
1	2	3	4
Muntazam greyderlash	Notekislik, o'tkir tosh	Kesilish va qizish kamayadi	Yo'l xo'jaligi
Burilish radiusini kengaytirish	Yonlama kuch	Tish yulinishi kamayadi	Loyiha/ekspluatatsiya
Tezlikni cheklash	Qizish, sirpanish	Issiqlik rejimi barqarorlashadi	Transport xizmati
Bosim monitoringi	Past/yuqori bosim	Notekis yeyilish kamayadi	Texnik servis
Yuk me'yori nazorat qilish	Ortiqcha yuk	Karkas zo'riqishi kamayadi	Dispatcherlik

Ushbu choralar alohida bajarilganda ham ma'lum samara beradi, biroq eng yuqori natija ularni yagona boshqaruv tizimi sifatida joriy etganda olinadi. Masalan, tezlik cheklovi yo'l notekisligi bartaraf qilinmasa to'liq natija bermaydi; bosim nazorati esa ortiqcha yuklash davom etsa shinning qizishini to'liq oldini olmaydi. Shuning uchun profilaktika integratsiyalashgan bo'lishi kerak.

Kon samosvallari uchun asosiy e'tibor yukli qatnov yo'nalishlariga qaratilishi lozim. Qiyalik yuqori bo'lgan uchastkalarda tezlik, tormozlanish va shina harorati nazorat qilinadi; pastga yuk bilan harakatlanish rejimi alohida xavfli deb baholanadi. Samosvallarda protektorning issiqlikka bardoshliligi va karkas mustahkamligi muhim, chunki uzoq masofali yukli sikllarda shina ichida issiqlik to'planishi tezlashadi.

Yuklagichlar va ekskavatorlar uchun kesilish va yon devor himoyasi birinchi o'ringa chiqadi. Ular ko'pincha o'tkir toshlar, yirik jinslar va mayda fraksiyalar ustida ishlaydi; harakat masofasi kam bo'lsa ham, statik zo'riqish, burilish va g'ildirakning aylanib ketishi yuqori bo'ladi. Bunday texnikalar uchun yon tomoni mustahkam, chuqur protektorli va kesilishga chidamli shinalarni tanlash maqsadga muvofiq.

Avtokran va vaxtovka transportlarida sharoit aralash bo'lgani uchun bosim va yuk taqsimoti eng muhim nazorat ko'rsatkichiga aylanadi. Asfalt, shag'al va karer ichki yo'llari almashib kelganda shina bir xil rejimda ishlamaydi. Kranlarda yuk ko'tarish paytida og'irlik markazi o'zgaradi, bu ayrim shinalarda ortiqcha yuklanish keltirib chiqaradi. Shu sababli ish boshlashdan oldingi texnik ko'rik va bosim tekshiruv majburiy bo'lishi kerak.

Shina modellari va protektor sinfini tanlashda ishlash joyining asosiy xavfi aniqlanishi lozim. Agar hududda o'tkir toshlar ko'p bo'lsa, kesilishga chidamli protektor; agar uzoq masofali yukli qatnov ustun bo'lsa, issiqlikka bardoshli

konstruksiya; agar kichik radiusli burilishlar ko'p bo'lsa, yon devori kuchaytirilgan va super-lug turidagi yechimlar afzal. Bunday differensial yondashuv shina xarajatlari optimallashtirishga yordam beradi [12].

Hisob amallari

Shinalarga ta'sir etuvchi omillarni faqat sifat jihatdan tasniflash yetarli emas, balki ularning resursga ta'sirini miqdoriy ko'rsatkichlar orqali ham baholash zarur. Shu maqsadda shina resursining kamayishini ifodalovchi koeffitsiyentli model taklif etiladi. Model shartli diagnostik hisob-kitob uchun mo'ljallangan bo'lib, karer yo'llarida ishlayotgan avtomobil transport vositalari shinalarining xizmat muddatini baholash imkonini beradi.

Shinning amaldagi resursi (R) quyidagi ko'paytma model orqali aniqlanadi:

$$R_0 = T_0 \cdot k_a \cdot k_n \cdot k_t \cdot k_b \cdot k_y \quad (1)$$

bunda R_0 – me'yoriy bazaviy resurs; k_a – yo'l qoplamasining abrazivligi koeffitsiyenti; k_n – nishablik ta'siri koeffitsiyenti; k_t – harorat ta'siri koeffitsiyenti; k_b – ichki havo bosimi intizomi koeffitsiyenti; k_y – yuklanish va yuk taqsimoti koeffitsiyenti.

Abraziv yeyilish kuchaygan holatda $k_a = 1 / (1 + \delta)$ ko'rinishida baholanadi. Agar shag'alli va o'tkir qirrali yo'lda protektor yeyilishi o'rtacha 50% ga tezlashsa, $\delta = 0,50$ bo'ladi va $k_a = 1 / 1,50 = 0,667$ ga teng.

Harorat ta'siri 110 °C dan yuqori rejim uchun $k_t = 1 / [1 + 0,02 \cdot (T - 110)]$ ifoda bilan baholandi. Masalan, $T = 115$ °C bo'lsa, $k_t = 1 / [1 + 0,02 \cdot 5] = 0,909$ bo'ladi.

Namunaviy hisob-kitob uchun kon samosvali shinasining bazaviy resursi $R_0 = 10000$ soat deb olindi. Abraziv yo'l sharoiti, 10–12% gacha bo'lgan nishablik, 115 °C ishchi harorat, bosimdagi chetlanish va yuklanish notekisligi hisobga olindi [5,6]. Hisob natijalari 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval

Shina resursini koeffitsiyentli model asosida hisoblash natijalari

Ko'rsatkich	Belgisi	Qabul qilingan qiymat	Hisoblash tartibi	Natija
1	2	3	4	5
Bazaviy shina resursi	R_0	10000 soat	Me'yoriy resurs	10000 soat
Abraziv yo'l ta'siri	k_a	$\delta = 0,50$	$k_a = 1 / (1 + 0,50)$	0,667
Nishablik ta'siri	k_n	10–12% qiyalikda resurs 36% qisqaradi	$k_n = 1 - 0,36$	0,640
Harorat ta'siri	k_t	$T = 115$ °C	$k_t = 1 / [1 + 0,02 \cdot (115 - 110)]$	0,909



Bosim intizomi ta'siri	k_b	Bosim me'yordan chetlangan	Ekspert baholash	0,900
Yuklanish ta'siri	k_y	Yuk notekis taqsimlangan	Ekspert baholash	0,850
Hisobiy shina resursi	R	-	$R = 10000 \cdot 0,667 \cdot 0,640 \cdot 0,909 \cdot 0,900 \cdot 0,850$	taxminan 2969 soat

Hisob-kitob natijasiga ko'ra, ko'rib chiqilgan og'ir ekspluatatsiya sharoitida shinning amaldagi resursi taxminan 2969 soatni tashkil etadi. Bu bazaviy resursga nisbatan 70,3% ga qisqarishni anglatadi. Demak, karer sharoitida shina resursini baholashda faqat bosib o'tilgan masofa emas, balki yo'l abrazivligi, qiyalik, harorat, bosim va yuklanish koeffitsiyentlari birgalikda hisobga olinishi kerak.

Shina yeyilish intensivligini quyidagi ifoda orqali baholash mumkin:

$$I_y = \frac{h_0}{R} \quad (2)$$

bunda: I_y – protektor yeyilish intensivligi, mm/soat; h_0 – protektorning boshlang'ich foydali balandligi, mm; R – shinning hisobiy resursi, soat. Agar $h_0 = 70$ mm va $R = 2969$ soat bo'lsa, $I_y = 70 / 2969 = 0,0236$ mm/soat bo'ladi.

Shinalarga yillik ehtiyoj quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$N_{sh} = \frac{n_a \cdot H_y}{R} \quad (3)$$

bu yerda: N_{sh} – bir transport vositasi uchun yillik shina ehtiyoji, dona/yil; n_a – avtomobildagi shinalar soni; H_y – yillik ish vaqti, soat/yil. Agar $n_a = 6$ dona, $H_y = 4500$ soat/yil va $R = 2969$ soat bo'lsa, $N_{sh} = (6 \cdot 4500) / 2969 = 9,09$ dona/yil bo'ladi. Amaliy rejalashtirishda bu qiymat 10 dona/yil deb qabul qilinadi [8].

Profilaktik tadbirlar natijasida yo'l qoplamasini yaxshilash, qiyalik va burilishlarda tezlikni cheklash, bosim monitoringini joriy etish hamda yukni me'yorlash hisobiga koeffitsiyentlar yaxshilansa, shina resursi sezilarli darajada ortadi. Masalan, $k_a = 0,80$; $k_n = 0,75$; $k_t = 0,95$; $k_b = 0,97$; $k_y = 0,95$ deb olinsa, $R_2 = 10000 \cdot 0,80 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,95 = 5249$ soat bo'ladi.

Bunday sharoitda yillik shina ehtiyoji $N_{sh2} = (6 \cdot 4500) / 5249 = 5,14$ dona/yil, ya'ni amaliy jihatdan 6 dona/yilni tashkil etadi. Demak, bir transport vositasi bo'yicha yillik tejalish taxminan 4 dona shinaga teng bo'ladi. Agar bitta OTR shinning shartli narxi 18 mln so'm deb olinsa, yillik iqtisodiy samara quyidagicha aniqlanadi:

$$E = (N_{sh1} - N_{sh2}) \cdot C_{sh} = (10 - 6) \cdot 18 = 72 \text{ mln so'm/yil.}$$

Ushbu hisob-kitoblarni shuni ko'rsatadiki, yo'l holatini yaxshilash, bosim va harorat monitoringini joriy etish, ortiqcha yuklanishni cheklash va haydovchilar intizomini kuchaytirish nafaqat shina resursini oshiradi, balki transport vositalarining bekor turib qolish vaqtini ham kamaytiradi. Natijada kon-transport tizimida ekspluatatsion xarajatlar pasayadi, texnologik jarayonning uzluksizligi esa ortadi.

4. Xulosa

“Olmaliq KMK” AJ sharoitida transport vositalari shinalariga ta'sir qiluvchi omillarni tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, shina resursi ko'p omilli tizim natijasidir. Yo'l qoplamasining abrazivligi, o'tkir toshlar, qiyalik, kichik radiusli burilishlar, namlik, ichki bosim, yuk taqsimoti, haydash uslubi, issiqlik rejimi va rezinaning tabiiy eskirishi birgalikda shinning xizmat muddatini belgilaydi.

Karer yo'llarining holati shina resursiga eng kuchli ta'sir ko'rsatadi. Abraziv va o'tkir qirrali qoplamalarda protektor yeyilishi tezlashadi, kesilish va teshilish xavfi ortadi. Qiyalik

6% va undan yuqori bo'lganda shina resursining jiddiy kamayishi, 10–12% qiyalikda esa umr qisqarishining keskinlashishi kuzatiladi. Kichik radiusli burilishlar yonlama kuchlarni oshirib, tishlarning yulinishi va yon devor deformatsiyasini kuchaytiradi.

Issiqlik rejimi shina ishonchligining markaziy ko'rsatkichidir. Shina harorati 110°C dan oshganda rezina mustahkamligi pasayadi, qatlamlarga ajralish xavfi ortadi va karkasning ishchanligi kamayadi. Shuning uchun tezlikni cheklash, ortiqcha yukni oldini olish, bosimni me'yorda ushlash hamda yo'l notekisliklarini kamaytirish issiqlikni boshqarishning asosiy usullari hisoblanadi.

Amaliy tavsiyalar sifatida karer yo'llarini muntazam greyderlash, burilish radiuslarini kengaytirish va viraj hosil qilish, namlik va suv yig'ilishini bartaraf etish, shinalar bosimi va haroratini monitoring qilish, yuk me'yoriga rioya qilish, haydovchilar uchun burilish va qiyaliklarda tezlik limitlarini joriy etish, shina shikastlarini qayd etish jurnalini yuritish hamda transport turiga mos shina modelini tanlash taklif etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Continental. Off-The-Road Tires: Technical Data Book. Hannover: Continental Reifen Deutschland GmbH, 2020.
- [2] Bridgestone Corporation. Data Book: Off-the-Road Tires. Tokyo: Bridgestone Corporation, 2023.
- [3] Michelin. Technical Data: Earthmover Tires. Clermont-Ferrand: Compagnie Generale des Etablissements Michelin, 2022/2023.
- [4] Goodyear. Off-The-Road Tire Maintenance Manual. Akron: The Goodyear Tire & Rubber Company, 2017.
- [5] The Yokohama Rubber Co., Ltd. OTR Tire Handbook. Tokyo: Yokohama Rubber Co., Ltd., 2024.
- [6] Caterpillar Inc. Haul Road Design and Management. Peoria: Caterpillar Global Mining, 2010.
- [7] Tannant D.D., Regensburg B. Guidelines for Mine Haul Road Design. Vancouver: University of British Columbia, 2001.
- [8] Darling P. SME Mining Engineering Handbook. 3rd ed. Englewood: Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 2011.
- [9] Kennedy B.A. Surface Mining. 2nd ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 1990.
- [10] ShNQ 2.05.02-23. Avtomobil yo'llari. Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi, 2023.
- [11] The Tire and Rim Association. Year Book. Copley: The Tire and Rim Association, 2023.
- [12] ETRTO. Standards Manual. Brussels: European Tyre and Rim Technical Organisation, 2023.



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

Abdullayev Botir Inatovich / Botir Abdullaev
Toshkent davlat transport universiteti, "Transport logistikasi" kafedrası dotsenti, t.f.f.d., (PhD), dotsent
E-mail: botir_i@tstu.uz
Tel.: +998 94 699 41 52

Xolmatov
Abduraximjon
Robiljon o'g'li /
Abdurakhimjon
Kholmatov

<https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>

Toshkent davlat transport universiteti, "Transport logistikasi" kafedrası talabasi
E-mail: abdurahimxolmatov9@gmail.com
Tel.: +998 95 187 77 57



Effective technologies for protecting bridge cones using gabion structures

M.Kh. Miralimov¹^a, Sh.B. Akhmedov¹^b, B.M. Mukhitdinov¹^c, A.A. Menglibaev²^d

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak state university, Nukus, Uzbekistan

Abstract: Gabion structures have been effectively used in engineering practice for many years. At the present stage, due to their multifunctional properties, high stability in complex natural conditions, and technical efficiency in strengthening soil masses, they are widely used in various road, hydraulic engineering, and bridge structures. These structures serve as an effective solution in engineering structures that strengthen the slopes of embankments and embankments, ensure coastal protection in areas crossed by watercourses, limit erosion and weathering processes, as well as perform regulating and protective functions.

Keywords: gabion structures, fortification, slopes, box gabions, mat gabions, cones, composite materials, bridges

Gabion konstruksiyalar yordamida ko'prik konuslarini muhofazalashning samarali texnologiyalari

Miralimov M.X.¹^a, Axmedov Sh.B.¹^b, Muxitdinov B.M.¹^c, Menglibaev A.A.²^d

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O'zbekiston

Annotatsiya: Gabion konstruksiyalar muhandislik-amaliyotida uzoq yillar davomida samarali qo'llanib kelinmoqda. Hozirgi bosqichda ularning ko'p funksiyali xususiyatlari, murakkab tabiiy sharoitlarda yuqori barqarorligi hamda grunt massivlarini mustahkamlashdagi texnik samaradorligi sababli turli yo'l, gidrotexnika va ko'prik inshootlarida keng tatbiq etilmoqda. Mazkur konstruksiyalar ko'tarma va o'yma qiyaliklarini mustahkamlash, suv oqimlari kesib o'tadigan hududlarda qirg'oq himoyasini ta'minlash, eroziya va yemirilish jarayonlarini cheklash, shuningdek, tartibga soluvchi va muhofaza vazifasini bajaruvchi muhandislik inshootlarida samarali yechim sifatida xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: gabion konstruksiyalar, mustahkamlagich, qiyaliklar, qutisimon gabionlar, to'shama gabionlar, konuslar, kompozit materiallar, ko'priklar

1. Kirish

Hozirgi kunda O'zbekistonda transport kommunikatsiyalarini rivojlantirishda ko'prik inshootlarini loyihalash, qurish va ulardan foydalanish sifat jihatidan yaxshilashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ayni paytda respublikaning umumiy foydalanishdagi avtomobil yo'llarida 7 mingdan ortiq ko'priklar harakatni ta'minlamoqda. Ushbu ko'priklarning ishonchiligi va mustahkamligini oshirish bo'yicha bir qator ishlar olib borilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 4-oktyabrda "Yo'l ko'priklari, yo'l o'tkazgichlari va boshqa sun'iy inshootlarni qurish va ulardan foydalanishni tashkil etish tizimini takomillashtirish to'g'risida" gi PQ-3309 sonli qarorida[1] belgilangan vazifalardan kelib chiqib bu yo'nalish o'z oldiga yo'l infratuzilmasini yanada qurish va rekonstruksiya qilish, birinchi navbatda, mintaqaviy avtomobil va temir yo'llarni rivojlantirish, xo'jaliklararo qishloq avtomobil yo'llari, transport inshootlari, aholi punktlari ko'chalarini kapital ta'mirlash va saqlash kabi g'oyat muhim vazifalarni qo'ymoqda. Shundan kelib chiqib mamlakatimizdagi ko'p gina ko'priklar o'tgan asr 70-80 yillari qurilganini inobatga olsak, bu ko'priklarni ekspluatatsiya davrini yanada uzaytirish, saqlash, ularni har

xil ofatlardan himoyalashtirish yangi ilg'or texnologiyalardan foydalanish dolzarb mavzulardan biri hisoblanadi.

Uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonida ko'prik konstruksiyalarining yuk ko'taruvchi konstruksiyalarida loyihadan yuqori doimiy va vaqtinchalik yuklarning ta'siri, salbiy atmosfera ta'siri, mexanik shikastlanishlar va boshqalar ta'sirida turli nuqsonlar va shikastlanishlar paydo bo'ladi. Shu bilan birga, sezilarli darajada yuklangan yupqa devorli plita-balka tizimlari eng katta yemirilishga duchor bo'ladi. O'zbekiston Respublikasida yildan yilga ko'proq ko'priklar yaroqsiz holga kelmoqda yoki vayron bo'lmoqda[1].

Ko'plab ko'priklar va boshqa ko'plab sun'iy inshootlar allaqachon eskirgan, ularni ta'mirlash va qurish ishlari olib borilmoqda. Ushbu maqolada ko'priklar qurilishi va ekspluatatsiya qilishda zamonaviy texnologiyalar, ko'priksizlik sohasidagi innovatsiyalar ko'rib chiqiladi, ko'priksizlikda qo'llaniladigan ilg'or materiallar va konstruktiv yechimlar tavsiflanadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ko'prik tayanchlari va konus qismlari eng murakkab ekspluatatsion sharoitda ishlaydigan konstruktiv zonalar

^a <https://orcid.org/0000-0003-2530-5516>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2926-7185>

^c <https://orcid.org/0009-0002-8924-3502>

^d <https://orcid.org/0009-0007-1992-2178>



hisoblanadi. Ushbu hududlar doimiy ravishda suv oqimi, grunt muhitining o'zgaruvchanligi, transport yuklamalari hamda iqlim omillari ta'siriga duch keladi. Natijada vaqt o'tishi bilan konstruksiyaning mustahkamligi pasayib, turli darajadagi deformatsiya va yemirilish jarayonlari yuzaga keladi.

Ko'pgina tahlillarga ko'ra, yemirilishning eng asosiy sababi suv oqimining gidrodinamik ta'siri bilan bog'liqdir. Oqim tezligi ortishi natijasida grunt zarralari harakatga keladi va tayanch atrofida yuvilish jarayoni boshlanadi. Ayniqsa, suv yo'nalishining keskin burilishi, to'siqlar mavjudligi hamda suv sathi tez o'zgaradigan hududlarda lokal girdoblar hosil bo'lib, gruntning intensiv eroziyalanishiga sabab bo'ladi. Ushbu jarayon davom etar ekan, poydevor ostida bo'shliqlar paydo bo'lishi va konstruksiyaning cho'kish xavfi ortadi.

Geotexnik omillar ham yemirilish jarayonini tezlashtiruvchi muhim faktor hisoblanadi. Grunt qatlamlarining notekis zichlanishi, namlikning ortishi va filtratsiya bosimlarining oshishi gruntning ko'tarma qobiliyatini kamaytiradi. Bunday sharoitda tayanch atrofidagi deformatsiyalar sekin-asta to'planib boradi va konstruktiv barqarorlik izdan chiqishi mumkin.

Transport oqimining yil sayin ortib borishi natijasida ko'priklar konstruksiyalariga ta'sir etuvchi dinamik yuklamalar ham kuchaymoqda. Og'ir yuk avtomobillarining takroriy zarbalari beton va temir-beton elementlarda mikroyo'riqlar hosil bo'lishiga olib keladi. Ushbu mikroyo'riqlar orqali suv va agressiv muhit kirib borib, materialning ichki strukturasini zaiflashtiradi. Vaqt o'tishi bilan bu holat mustahkamlikning pasayishi va xizmat muddatining qisqarishiga sabab bo'ladi.

Iqlim omillari ham muhim rol o'ynaydi. Haroratning keskin o'zgarishi, muzlash va erish sikllarining takrorlanishi betonning hajmiy deformatsiyasini kuchaytiradi. Natijada yuzaki qatlamlarda yorilishlar paydo bo'ladi va himoya qatlami yemiriladi. Suv tarkibidagi kimyoviy faol moddalarning uzoq muddatli ta'siri esa konstruktiv materiallarning korroziyaga moyilligini oshiradi.

Amaliy kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy himoya usullari bunday murakkab ta'sirlar majmuasiga har doim ham yetarli darajada qarshilik ko'rsata olmaydi. Misol sifatida Rossiya Federatsiyasi Mondri-Orlik avtomobil yo'lidagi Sorok daryosi ustidan o'tgan ko'priklar kuchli suv bosimi ostida ko'priklar konusining yuvilishini ko'rishimiz mumkin (1-rasm). Shu sababli ko'priklar tayanchlari va konus qismlarini zamonaviy, moslashuvchan hamda uzoq xizmat muddatiga ega konstruksiyalar bilan himoyalash zarurati yuzaga kelmoqda. Ushbu nuqtai nazardan kompozit to'rtli gabion konstruksiyalarining qo'llanilishi ilmiy jihatdan asoslashni talab etuvchi istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Zarurat tug'ilganda, yemirilish jarayonlarining ayrim qonuniyatlarini normativ hujjatlar va fundamental tadqiqotlar bilan solishtirish mumkin.

Eng keng tarqalgan himoya usullaridan biri beton qoplamalar hisoblanadi. Beton plitalar va monolit qoplamalar yuqori mustahkamlikka ega bo'lib, kuchli gidravlik ta'sirlarga nisbatan yaxshi qarshilik ko'rsatadi. Biroq beton konstruksiyalar og'ir vaznli bo'lgani sababli poydevorga qo'shimcha yuklama hosil qiladi. Bundan tashqari, harorat tebranishlari va muzlash-erish sikllari natijasida beton yuzalarida yorilishlar paydo bo'lishi mumkin, bu esa suvning konstruksiya ichiga kirib borishiga sharoit yaratadi va uzoq muddatda mustahkamlikni pasaytiradi.



2-rasm. Ko'priklar konusining yuvilishi. Rossiya Federatsiyasi Mondri-Orlik avtomobil yo'lidagi Sorok daryosi ustidan o'tgan ko'priklar

Konusning zarur barqarorligi uning yonbag'irlarining yetarlicha qiyaligi, konus va ko'tarmaning unga tutash qismini drenajlaydigan tuproq (qum, shag'al, alohida hollarda - chaqir tosh) bilan to'ldirish, yonbag'irlarni mustahkamlash bilan ta'minlanadi. Konus bilan bir xil grunt bilan ustun orqasidagi ko'tarma uchastkasi ustki tomondan (ustunning orqa qirrasidan boshlab hisoblaganda) ustun oldidagi ko'tarma balandligidan plyus 2 m dan kam bo'lmagan uzunlikda, pastda esa (gruntning tabiiy yuzasi sathida) - 2 m dan kam bo'lmagan uzunlikda ko'milishi kerak.

Ko'priklar osti konuslari va mustahkamlanadigan o'zanlar, tartibga soluvchi va qirg'oq bo'yi inshootlari yuklarni va toshqin va ular bilan bog'liq jarayonlar va hodisalarning ta'sirini qabul qilish uchun mo'ljallangan eng mas'uliyatli inshootlar sifatida ko'rib chiqilishi kerak.

Ko'priklar osti konuslari, mustahkamlanadigan o'zanlar, tartibga soluvchi va qirg'oq bo'yi inshootlari konstruksiyalarini loyihalashning asosiy dastlabki qoidalardan biri quyidagilardir:

ushbu inshootlarning qurilish boshlanishiga va ishlash davriga (doimiy, davriy, chegaralangan) suv bosish sharoitlarini va ularning asoslarini yuvish imkoniyatini aniqlash;

ko'priklar osti o'zanining ko'ndalang kesimida va mustahkamlanadigan inshootlar bo'ylab yuvilishlarning hisobiy-bashorat qiymatlarini aniqlash va bu yuvilishlar chiziqlarining planli-balandlik holatlarini (chizmalarini) qurish.

Ko'priklar osti konuslarini mustahkamlash uchun, ular doimiy, davriy va kam suv bosish hududlaridan tashqarida joylashgan bo'lsa, shuningdek, ularning yuvilib ketish xavfi bo'lmagan hollarda, gabion inshootlarining turli xillari orasida qutisimon gabionlardan tayanch sifatida foydalanilgan matras-ko'rpa gabionlari eng samarali hisoblanadi.

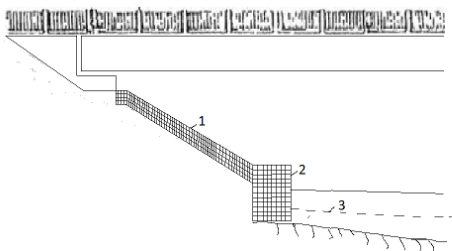
Ko'priklar osti konuslarini, mustahkamlanadigan o'zanlarni, qirg'oq bo'yi va tartibga soluvchi inshootlarni yuvilishdan himoya qilish uchun gabion mustahkamlagichlarning pastki qismida ishlatiladigan matraslarning uzunligi (1) formula bo'yicha, matraslarsiz o'rnatiladigan gabion devorlarning chuqurligi esa (2) formula bo'yicha o'rnatilishi kerak:

$$L \geq 2,5(\Delta Z + 0,5) \quad (1)$$

$$\Delta H \geq \Delta Z + 0,5 \quad (2)$$



bu yerda ΔZ - o'zan oqimlarining ushbu inshootlar tomonidan siqilish darajasini hisobga olgan holda ushbu va boshqa cho'kuvchi inshootlar joylashgan joyning xarakterli uchastkalari uchun aniqlanadigan yuvilish voronkasining hisobiy-prognoz chuqurligi.



2-rasm. Qurilish davrida suvning past darajasi va suv toshqini bo'lmaganda gabionlar bilan ko'prik konuslarini mustahkamlash uchun konstruktiv echimi sxemasi: 1 - matraslar; 2 - quti gabionlaridan yasalgan tayanch va himoya tuzilishi; 3 - yuvish liniyasi

Hozirgi vaqtda qiyaliklarni va ko'tarmalarni mustahkamlashning 20 dan ortiq turlari ma'lum va keng qo'llanilmoqda: o't ekish, pardozlash, butalar ekish, o'rmon ekish, geotekstildan foydalangan holda issiqlik va himoya qatlamlari, yig'ma temir-beton panjaralar, pnevmatik purkash, loyly tuproqlar, monolit sement-tuproq qoplamalari va panjaralar, egiluvchan temir-beton plitalar, yig'ma temir-beton egiluvchan panjaralar, yig'ma beton va temir-beton plitalar, monolit temir-beton plitalar, tosh qorishmasi va boshqalar.

Gabion konstruksiyalarni qo'llash nafaqat qiyaliklarni mustahkamlash, balki ekspluatatsiya qilinayotgan yer polotnosi, ko'prik osti konuslari, ko'prik tayanchlari, rostlovchi dambalar, qirg'oq va boshqa inshootlarni mustahkamlash, barqarorlashtirish va himoyalashning yuqori samarali va universal usullaridan biri hisoblanadi. Himoya-mustahkamlash vazifalarini bajarib qolmasdan gabion konstruksiyalar teskari filtr vazifasini bajarishga qodir, ba'zi hollarda ular filtratsiyaga qarshi chora-tadbirlarni ta'minlash uchun ishlatilishi mumkin.

Gabion konstruksiyalarning imkoniyatlarini tahlil qilish, natijada ular bir qator hollarda an'anaviy konstruksiyalarga qaraganda maqsadga muvofiq va tejamkor ekanligi aniqlandi.[2]

Bu gabion konstruksiyalari ega bo'lgan bir qator xususiyatlar va xarakteristikalar bilan bog'liq. Ulardan eng muhimlariga quyidagilar kiradi:

- yuklarga yuqori qarshilik ko'rsatish, karkas-armatura elementlari va old qirralarining mustahkamligi;
- suv va atmosfera yog'inlari ta'siridan korroziyaga chidamliligi;
- gabion konstruksiyalarga ularni buzmasdan namlikni o'tkazish va beqaror gruntlarning cho'kishiga, yonbag'irlarning ko'chishi va yemirilishiga, ularning yuvilib ketishiga hamda yonbag'irlar va qirg'oqlarning hamda boshqa yonbag'ir-qirg'oqbo'yi inshootlarining mahalliy barqarorligi zaiflashishiga yoki buzilishiga olib keladigan ba'zi boshqa omillarga qarshi turish imkonini beradigan egiluvchanlik va barqarorlik;
- yo'l-ko'prik inshootlarini mustahkamlashning an'anaviy turlari bilan birlashtirish imkoniyati va shu bilan kombinatsiyalangan konstruksiyalarni qo'llashning samaradorligi va ekologik tozaligini oshirish;

- mahalliy tosh materiallaridan keng foydalanish imkoniyati;
- an'anaviy qurilish materiallari, bloklar va drenaj qurilmalariga nisbatan eng yuqori va uzoq muddatli drenajlash qobiliyati;
- konstruksiyalar va qurilishning soddaligi, malakali ishchi kuchini talab qilmasligi;
- quriladigan inshootlar zaminini tayyorlash bo'yicha ishlarning minimal hajmlari;
- ekspluatatsiya xarajatlarining pastligi;
- ekologik tozalik, idrok etishning estetikligi, ishlashning ishonchligi, shuningdek, uzoq muddat xizmat qilishi.

Yonbag'irlarni "Gabion" usulida mustahkamlash. Gabionlar yoki GTB (gabion to'rtli buyumlar) - olti burchakli kataklarga ega bo'lgan simdan eshilgan to'rtidan tayyorlangan buyumlar. Qo'llanish sohasi: 1. Daryo va dengiz qirg'oq istehkomlarini qurish; 2. Kanallar qurish; 3. Landshaft dizayni ishlarida; 4. Yonbag'irlarni mustahkamlash uchun. Gabionlarning xizmat muddati:

- rux qoplamali simdan - 35 yil;
- galfan qoplamali simdan - 75 yil;
- rux va polimer qoplamali simdan - kamida 75 yil;

metallning hisobiy xizmat muddati BS 8006 standartiga muvofiq ruxsat etilgan hisobiy yuklamani baholashga ko'ra 100 yilni tashkil etadi[6]

Qutisimon gabionlar olti burchakli yacheykalarga ega bo'lgan ikki marta buralgan metall to'rtidan zavodda tayyorlangan konstruksiyalardir. To'rt simlari zich rux galvanik qoplamali yoki PVX qoplamali (maksus korrozion muhitda ishlatish uchun) bo'ladi. O'rnatishda gabionlar biri-biri bilan bog'lanadi va tosh bilan to'ldiriladi.



3-rasm. Ko'prik konuslaridagi gabion konstruksiyalar

Gabionlardan yasalgan ko'chkiga qarshi inshootlar yig'ma yoki monolit temir-beton konstruksiyalardan yasalgan qattiq yoki yarim qattiq inshootlarga qaraganda ancha tejamkor hisoblanadi, chunki ular oddiy konstruktiv yechimga ega bo'lib, qurish va foydalanish uchun kamroq xarajat talab qiladi, shuningdek, arzon tosh materiallardan foydalanish imkonini beradi. Ularni barpo etish uchun asosni tayyorlash bo'yicha minimal ish hajmi talab etiladi, drenaj tizimlarini o'rnatish zarurati istisno etiladi.

Ko'prik osti konuslari mustahkamlagichlarining konstruksiyalarini loyihalash va tanlashda ularning ishlashining quyidagi eng xarakterli holatlarini hisobga olish kerak: Ularning doimiy, davriy va kam suv bosish zonasidan tashqarida joylashganligi va konuslar tagining yuvilishi ehtimoli yo'qligi sharoitida, davriy va suv bosish sharoitlarida va toshqin suvlari qayir massivlaridan ko'prik osti bo'shlig'iga oqizilganda konuslar tagining yuvilishi yuzaga kelishi ehtimoli, vaqti-vaqti bilan va kam suv bosish

sharoitlarida va ko'prik osti o'zanining teskari yuvilishi yoki boshqa texnogen omillar bilan bog'liq boshqa deformatsiyalarining namoyon bo'lishi va rivojlanishi natijasida konuslar tagining yuvilishi va ko'prik osti o'zanlarining yuvilishi ehtimoli. Gabion konstruksiyalarida esa yuk ko'tarish qobiliyati va himoya xossalari to'liq saqlanib qoladi, chunki ular deformatsiyaga moslasha oladi va suvni erkin o'tkazib yuboradi. Matras-ko'rpa (gabion) uchun, umuman olganda, ko'prik ustida va atrofida yomg'ir suvlarini chiqarish tizimi to'g'ri ishlayaptimi yoki mavsumiy suvlar paytida yuqoridan yoki pastdan qancha suv oqishi ahamiyatli emas. Matras ehtimoliy xatolarni va drenaj tizimidagi mavsumiy nosozliklarni muvozanatlashtiradi. U suvni oson drenaj qiladi va o'tkazadi.

3. Xulosa

Umuman olganda, mustahkam va ishonchli gabion konstruksiyasini barpo etish qurilish maydonining muhandislik holatini chuqur tahlil qilish, inshootga ta'sir etuvchi yuklamalarni to'g'ri aniqlash, montaj ishlarini texnologik talablarga qat'iy rioya etgan holda bajarish hamda qo'llaniladigan materiallarni amaldagi me'yoriy hujjatlar asosida tanlash bilan uzviy bog'liqdir. Ko'prik konuslarida joylashgan gabion inshootlarining ekspluatatsiyasida doimiy va murakkab xizmat ko'rsatish talab etilmaydi. Asosan, matras yuzasida o'sadigan o'simliklarni davriy ravishda tozalash kifoya qiladi. Ta'mirlash imkoniyatlari nuqtai nazaridan gabion konstruksiyalari yuqori darajada samarali hisoblanadi. Agar inshootning ayrim uchastkalarida cho'kish holati kuzatilsa, faqat shu qismni mahalliy ta'mirlash orqali bartaraf etish mumkin bo'lib, butun konstruksiyaning ishlash qobiliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi. Bunda ta'mirlash ishlari ekspluatatsiya qiluvchi tashkilot tomonidan kam sarf-xarajat va minimal mehnat resurslari bilan amalga oshiriladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Journal of Transport ISSN: 2181-2438 "CHARACTERISTIC DEFECTS OF STRUCTURES ENCOUNTERED ON HIGHWAY BRIDGES IN THE REPUBLIC OF KARAKALPAKISTAN", M.X.Miralimov, Sh.B.Axmedov, B.M.Muxitdinov, A.A.Menglibaev;
- [2] Методические рекомендации по применению габионных конструкций на дорожно-мостовом строительстве. Под общ. ред. Б.Ф. Перевозникова / ООО «Организатор». ФГУП «Союздорпроект». М.: 2001 — 267 с.
- [3] "Влияние последствий наводнения на техническое состояние автодорожных мостов". Корныльев Евгений Николаевич
- [4] Альбом конструкций крепления откосовогоземляного полотна железных и автомобильных дорог общей сети Союза ССР. Инв. №750, Мосгипротранс. - Введ. в действие

Мосгипротрансом приказом № 13417.09.1970. - М., 1970. - 197 с.

[5] Бойцов А.П. Применение новых технологий инженерной защиты на объектах транспортной инфраструктуры / А. П. Бойцов, Е. А. Коновалов // Дорожная держава. – 2020. – №100. – С. 56 – 61.

[6] Диагностика мостовых сооружений. Учебное пособие. И.Г. Овчинников, В.И. Кононович, О.Н.Распоров, И.И. Овчинников, Саратов, Изд-во Саратов. Гос.Техн. ун-та., 2003, - 181 с

[7] СНиП РК А.2.2–1–2001 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

[8] Vlasenko V.F., Raskutin A.E. The use of polymer composite materials in building structures [Electronic resource]. – URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=123

[9] Elesin M.A. Environmentally friendly and safe building materials: textbook. allowance / M.A. Yelesin, E.V.Umnova. Norilsk: NGII. 2022. - 83 p. 3.

[10] Application of composite materials for bridge structures / V.G. Klenin, A.V.Pankov, T.G. Sorina, A.E. Ushakov // Implementation of the experience of applied advanced technologies of aircraft construction in industry and transport: Sat. articles. – M.: TsAGI Publishing House, 2021. – Issue. 3. – P. 5–12.

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

Miralimov Mirzohid / Mirzohid Miralimov	Toshkent davlat transport universiteti, "Avtomobil yo'llaridagi su'niy inshootlar" kafedrasida dotsenti, t.f.d. https://orcid.org/0000-0003-2530-5516
Axmedov Sherzod / Sherzod Akhmedov	Toshkent davlat transport universiteti, "Avtomobil yo'llaridagi su'niy inshootlar" kafedrasida dotsenti, PhD https://orcid.org/0000-0002-2926-7185
Muxitdinov Begis / Begis Mukhitdinov	Toshkent davlat transport universiteti, "Avtomobil yo'llaridagi su'niy inshootlar" kafedrasida tayanch doktoranti E-mail: ibrahimovich_11@mail.ru Tel.: +998906541899 https://orcid.org/0009-0002-8924-3502
Menglibaev Aybek / Aybek Menglibaev	Toshkent davlat transport universiteti, "Ko'priklar, tonnellar va yo'l o'tkazgichlar qurilishi" yo'nalishi magistranti Tel: +998 90 117 41 38 https://orcid.org/0009-0007-1992-2178



Modelling of thermophysical characteristics and analysis of interfacial interaction in nanocomposites based on polymer matrices

A. Antonov¹^a, V. Struk¹^b, M. Rakhmatov²^c, A. Riskulov²^d, Kh. Nurmetov²^e

¹Yanka Kupala state university of Grodno, Grodno, Belarus

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Using numerical simulation methods and analytical approaches, this paper analyzes the influence of the interfacial boundary layer on the effective thermal conductivity of heterogeneous systems of the “polymer matrix–dispersed filler” type. A methodology for the quantitative estimation of the thermal interfacial layer thickness is proposed and validated, based on a comparison of experimental data with the results of finite-difference modeling of the three-dimensional steady-state heat conduction equation. The effect of the filler particle size factor on their intrinsic thermal conductivity and the resulting thermophysical characteristics of the composite is investigated. It is established that, upon transition to the nanoscale, the Kapitza interfacial thermal resistance and the reduction in the thermal conductivity of the particle material due to phonon boundary scattering play the dominant role in limiting heat transport.

Keywords: polymer nanocomposites, thermal conductivity, interfacial layer, Kapitza resistance, size effect, numerical simulation, thermomechanical compounding, thermoplastics

Моделирование теплофизических характеристик и анализ межфазного взаимодействия в нанокompозитах на основе полимерных матриц

Антонов А.¹^a, Струк В.¹^b, Рахматов М.²^c, Рискулов А.²^d, Нурметов Х.²^e

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье с применением методов численного моделирования и аналитических подходов проведен анализ влияния межфазного граничного слоя на эффективную теплопроводность гетерогенных систем «полимерная матрица – дисперсный наполнитель». Предложена и апробирована методика количественной оценки толщины теплового межфазного слоя на основе сопоставления экспериментальных данных и результатов конечно-разностного моделирования трёхмерного стационарного уравнения теплопроводности. Исследовано влияние размерного фактора частиц наполнителя на их собственную теплопроводность и результирующие теплофизические характеристики композита. Установлено, что при переходе в нанодиапазон доминирующую роль в ограничении теплопереноса играют межфазное термическое сопротивление Капицы и снижение теплопроводности материала частиц вследствие фононного рассеяния на границах.

Ключевые слова: полимерные нанокompозиты, теплопроводность, межфазный слой, сопротивление Капицы, размерный эффект, численное моделирование, термомеханическое совмещение, термопласты

1. Введение

Создание полимерных нанокompозиционных материалов (ПНКМ) с прогнозируемым комплексом эксплуатационных характеристик является одной из приоритетных задач современного материаловедения, что отражено в стратегических документах как Республики Узбекистан, так и Республики Беларусь [1, 2]. Особое место в номенклатуре таких материалов занимают системы на основе полимеров, модифицированных дисперсными частицами различной природы [3, 4]. Если вопросы повышения деформационно-прочностных и адгезионных свойств

таких композитов изучены достаточно подробно, то механизмы формирования их теплофизических характеристик остаются предметом активных дискуссий.

Традиционные полимерные матрицы характеризуются низкими значениями коэффициента теплопроводности (0,1–0,5 Вт/(м·К)), что ограничивает их применение в узлах, требующих эффективного отвода тепла. Простое введение высокотеплопроводных наполнителей, включая углеродные нанотрубки с собственной теплопроводностью порядка 3000 Вт/(м·К), далеко не всегда приводит к ожидаемому росту эффективной теплопроводности композита [5].

^a <https://orcid.org/0000-0002-6155-4635>

^b <https://orcid.org/0009-0003-0934-6833>

^c <https://orcid.org/0009-0008-6395-5804>

^d <https://orcid.org/0000-0002-5275-9153>

^e <https://orcid.org/0000-0002-6111-7259>



Это указывает на существование дополнительных факторов, лимитирующих теплоперенос, ключевым из которых является формирование межфазного граничного слоя с особыми теплофизическими свойствами.

Данная совместная исследовательская работа направлена на установление взаимосвязи между структурными параметрами нанокомпозитов, получаемых по технологии термомеханического совмещения, и их эффективной теплопроводностью. Центральное внимание уделено количественной оценке вклада межфазного термического сопротивления и анализу размерных эффектов, проявляющихся при переходе частиц наполнителя в нанодиапазон.

2. Методика исследования

В качестве матричного материала в теплофизических экспериментах использовали эпоксидную смолу, что обеспечивало стабильность геометрии образцов и воспроизводимость результатов.

В роли дисперсных наполнителей выступали порошки оксида алюминия (Al_2O_3) и диоксида кремния (SiO_2) с различными средними размерами частиц – от микронного (4–20 мкм) до нанометрового (20–500 нм) диапазонов.

Выбор данных объектов позволил проследить эволюцию теплофизических характеристик при последовательном уменьшении масштаба наполнителя.

Эффективный коэффициент теплопроводности композитов λ_{eff} определяли экспериментально стандартизованными методами. Для теоретического анализа теплопереноса применяли два взаимодополняющих подхода.

Первый основывался на аналитической модели Максвелла для эффективной среды.

Второй, более детальный, заключался в численном решении трёхмерного стационарного уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями первого рода на противоположных гранях расчётной ячейки и адиабатическими условиями на остальных. Решение выполняли конечно-разностным методом по схеме «крест» на структурированной сетке. Эффективную теплопроводность вычисляли через суммарный тепловой поток, проходящий через образец.

Ключевым параметром модели выступало межфазное термическое сопротивление R_δ (сопротивление Капицы), характеризующее скачок температуры на границе «матрица–наполнитель».

Толщину теплового межфазного слоя δ оценивали путём варьирования R_δ в численной модели до достижения совпадения расчётных и экспериментальных значений λ_{eff} с последующим применением соотношения $\delta = \lambda_{\text{eff}} \cdot R_\delta$.

3. Результаты и Обсуждение

Формирование в нанокомпозите переходного граничного слоя является фундаментальным следствием взаимодействия полимерной матрицы с поверхностью наполнителя. В этом слое макромолекулы находятся в

особом конформационном состоянии, отличном от состояния в объёме, что влечёт за собой изменение всех физических характеристик, включая теплопроводность.

Как было показано ранее [3, 4], активные наночастицы с нескомпенсированным поверхностным зарядом способны инициировать образование упорядоченных областей матрицы, выступая центрами структурообразования. Однако влияние этого эффекта на интегральную теплопроводность композита неоднозначно и требует количественного анализа.

Для оценки толщины теплового межфазного слоя δ была использована расчётная схема, представленная на рисунке 1.

В рамках предложенной методики, варьируя значение R_δ в численной модели, добивались совпадения теоретической и измеренной концентрационных зависимостей λ_{eff} . Результаты этой процедуры для системы «эпоксидная смола – Al_2O_3 » приведены на рисунке 2.

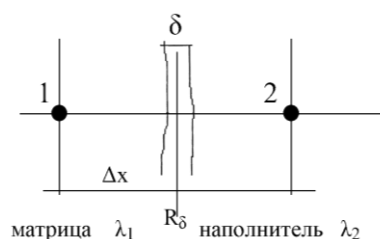


Рис. 1. Схематичное представление межфазной области в композите

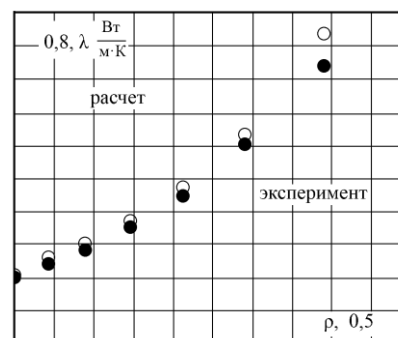


Рис. 2. Сопоставление экспериментальной и расчётных зависимостей λ_{eff} от содержания Al_2O_3 .

Согласно полученным данным, для композита с концентрацией наполнителя 0,312 мас. % и экспериментальным значением $\lambda_{\text{eff}} = 0,675$ Вт/(м·К) совпадение с расчётом достигается при $R_\delta \approx 1 \cdot 10^{-8}$ м²·К/Вт. Данная величина соответствует толщине теплового межфазного слоя δ порядка 6,75 нм.

Этот результат хорошо согласуется с представлениями о нанометровом масштабе зоны возмущения полимерной матрицы вблизи поверхности твёрдого тела [6].

Далее был проведен анализ влияния размерного фактора на собственную теплопроводность частиц наполнителя.

В фоновом приближении влияние характерного размера частицы на её теплопроводность может быть описано через число Кнудсена $K_n = l / L$, где l – длина свободного пробега фононов, а L – характерный размер частицы [7].

Эффективная теплопроводность частицы λ_{eff} связана



с теплопроводностью объёмного материала λ_0 соотношением (2):

$$\lambda_{eff} = \frac{\lambda_0}{1 + K_n} \quad (2)$$

Расчётные оценки, выполненные с использованием справочных данных по теплофизическим параметрам и температурам Дебая для ряда соединений (MgO , Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , SiC , SiO_2), показали, что проявление размерных эффектов для различных материалов начинается в существенно различающихся диапазонах (рисунок 3).

Как видно из представленных зависимостей, границы наноразмерности, ниже которых теплопроводность материала частицы начинает заметно снижаться, простираются от полутора до пятисот нанометров.

Примечательно, что для таких соединений, как SiO_2 и TiO_2 , расчётный порог L_0 , полученный из соотношения $L_0 = 230 \cdot \theta D^{-1/2}$, даёт удовлетворительную оценку этой границы, тогда как для других материалов требуются более сложные модели, учитывающие особенности фононного спектра.

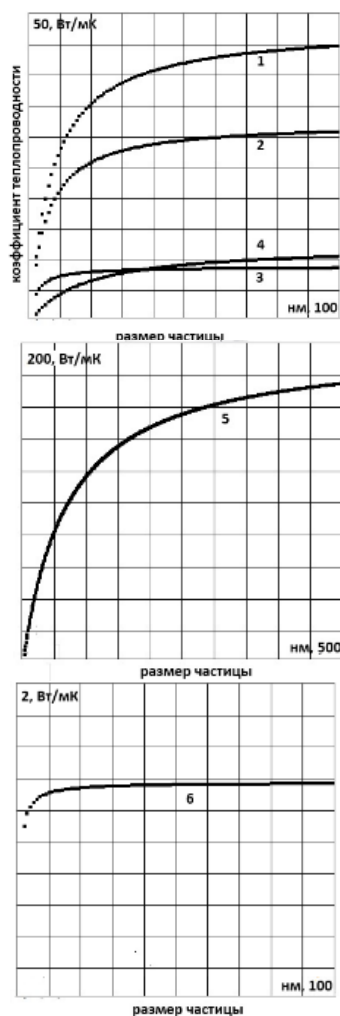


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности частицы от ее размеров: 1 – MgO ; 2 – Al_2O_3 ; 3 – TiO_2 ; 4 – ZnO ; 5 – SiC ; 6 – SiO_2 .

Сопоставление экспериментальных данных по теплопроводности композитов с наполнителями различной дисперсности (рисунки 4 и 5) выявляет устойчивую закономерность.

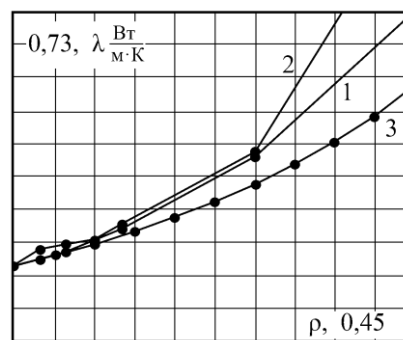


Рис. 4. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности модельного композита «эпоксидная смола + SiO_2 » при размерах частиц наполнителя $d > 200$ нм: 1 – эксперимент; 2 – расчет; 3 – расчет по модели Максвелла

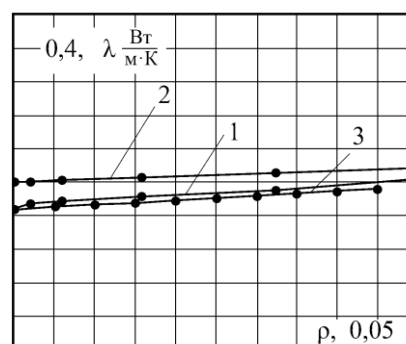


Рис. 5. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности модельного композита «эпоксидная смола + Al_2O_3 » при размерах частиц наполнителя $d > 500$ нм: 1 – эксперимент; 2 – расчет; 3 – расчет по модели Максвелла

Как следует из графиков, расчёты по классической модели Максвелла, не учитывающей ни межфазное сопротивление, ни размерную зависимость теплопроводности наполнителя, дают систематически завышенные значения λ_{eff} . Напротив, численная модель, параметризованная по описанной выше методике, демонстрирует хорошее согласие с экспериментом во всём исследованном диапазоне концентраций.

При переходе к частицам нанометрового размера экспериментально фиксируется снижение эффективной теплопроводности композита по сравнению с системами, содержащими микронные частицы того же химического состава при сопоставимой объёмной доле (рисунки 6 и 7) [8].

Данное наблюдение на первый взгляд противоречит интуитивному ожиданию, что наночастицы, обеспечивая колоссальную межфазную поверхность, должны способствовать росту теплопроводности за счёт модифицирования матрицы. Однако количественный анализ демонстрирует, что в нанодиапазоне начинают доминировать два конкурирующих фактора, снижающих теплоперенос.

Во-первых, резко возрастает вклад межфазного термического сопротивления Капицы, обусловленного рассогласованием акустических спектров полимера и наполнителя, а также дефектностью контакта. Суммарная площадь границ раздела фаз с уменьшением размера частиц растёт обратно пропорционально их диаметру, что ведёт к пропорциональному росту

интегрального термического сопротивления.

Во-вторых, уменьшается собственная теплопроводность материала частиц из-за баллистического характера фононного переноса и рассеяния фононов на границах нанокристаллитов.

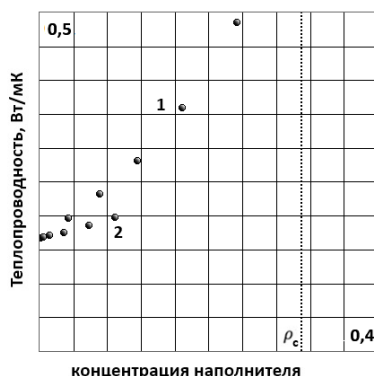
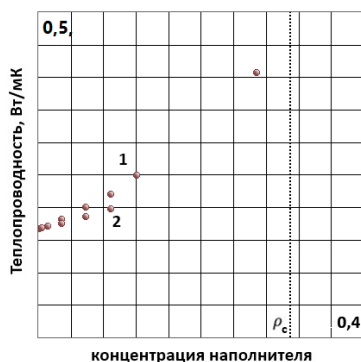


Рис. 6. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности композита «эпоксидная смола + Al_2O_3 » при размерах частиц наполнителя: 1 – $d \sim 4$ мкм; 2 – $d \sim 30$ нм; ρ_c – порог перколяции



Рису. 7 – Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности композита «эпоксидная смола + SiO_2 » при размерах частиц наполнителя: 1 – $d \sim 20$ мкм; 2 $d \sim 20$ нм; ρ_c – порог перколяции

Эффект модифицирования матрицы, выражающийся в образовании упорядоченных областей с потенциально более высокой теплопроводностью, в данных системах оказывается количественно незначительным по сравнению с вышеуказанными факторами.

Иными словами, механизмы, ответственные за упрочнение нанокомпозитов, и механизмы, определяющие их теплопроводность, имеют различную природу. Целесообразно ввести разделение на механический межфазный слой, обеспечивающий передачу напряжений, и тепловой межфазный слой (слой Капицы), лимитирующий тепловой поток.

Дальнейшее совместное углублённое изучение взаимосвязи структуры этих двух слоёв представляет собой актуальную задачу.

4. Заключение

Выполненный комплекс расчётно-экспериментальных исследований теплопереноса в полимерных нанокомпозитах, получаемых термомеханическим совмещением, позволяет

сформулировать следующие научно обоснованные положения:

1. Предложена и верифицирована конечно-разностная методика, позволяющая на основе сопоставления с экспериментом количественно определять межфазное термическое сопротивление Капицы и соответствующую ему эффективную толщину теплового граничного слоя. Для композита «эпоксидная смола – Al_2O_3 » установлено значение $\delta \approx 6,75$ нм, что соответствует нанометровому масштабу.

2. Показано, что собственная теплопроводность частиц наполнителя не является величиной константной и при уменьшении их размера ниже нескольких сотен нанометров начинает монотонно снижаться вследствие ограничения длины свободного пробега фононов.

3. Установлено, что доминирующими факторами, определяющими эффективную теплопроводность нанокомпозита, являются межфазное сопротивление Капицы и снижение теплопроводности самого наполнителя. Их совокупное действие перекрывает позитивный эффект от модифицирования приповерхностных слоёв матрицы, что приводит к наблюдаемому в эксперименте уменьшению λ_{eff} при переходе к наночастицам.

Полученные результаты создают основу для обоснованного выбора типа и дисперсности наполнителей при конструировании полимерных композиционных материалов с заданными теплофизическими характеристиками для применения в системах терморегулирования.

Использованная литература / References

- [1] Стратегия «Узбекистан – 2030»: Указ Президента Республики Узбекистан № УП-158 от 11 сентября 2023 г. URL: https://strategy.uz/index.php?static=strategy_action&lang=ru.
- [2] О Государственной программе инновационного развития на 2026 – 2030 годы: Указ Президента Республики Беларусь № 448 от 21 декабря 2025 г. URL: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-448-ot-21-dekabrya-2025-g>.
- [3] Авдейчик, С. В. Фактор наносодействия в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. – 468 с.
- [4] Антонов, А. С. Энергетический фактор материаловедения и технологии полимерных композитов : монография / А. С. Антонов, С. В. Авдейчик, А. Г. Икромов ; под науч. ред. В. А. Струка, А. А. Рискулова. – Ташкент : Vneshinvestprom, 2019. – 214 с.
- [5] Никитин, А. В. Тепловое сопротивление Капицы межфазного слоя композиционных систем с мелкодисперсным наполнителем / А. В. Никитин, А. В. Белко // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 137–145.
- [6] Kochetov R., Korobko A., Andritsch Th., Morshuis P. H. F., Picken S. J., Smit J. J. Modelling of the thermal conductivity in polymer nanocomposites and the impact of the interface between filler and matrix // Journal



of Physics D: Applied Physics. – 2011. – Vol. 44(39). – 12 p.

[7] Хвесюк, В. И. Теплопроводность наноструктур / В. И. Хвесюк, А. С. Скрябин // Теплофизика высоких температур. – 2017. – Т. 55, № 3. – С. 447–471.

[8] Zhang, G. A Percolation Model of Thermal Conductivity for Filled Polymer Composite / G. Zhang [et al.] // Journal of Composite Materials. – 2010. – Vol. 44, № 8. – P. 963–970.

Информация об авторах/ Information about the authors

Антонов Александр Сергеевич / Aleksandr Antonov
Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (Республика Беларусь), К.т.н., доцент
E-mail: antonov.science@gmail.com
Тел.: +375 29 265 9936
<https://orcid.org/0000-0002-6155-4635>

Струк Василий Александрович / Vasily Struk
Гродненского государственного университета имени Янки

Купалы (Республика Беларусь), Д.т.н., профессор
E-mail: struk@grsu.by
Тел.: +375 29 265 9936
<https://orcid.org/0009-0003-0934-6833>

Рахматов Муроджон Искандарович / Murodjon Rakhmatov
Ташкентский государственный транспортный университет, Старший преподаватель
E-mail: murodjonrakhmatov9@gmail.com
Тел.: +998974070053
<https://orcid.org/0009-0008-6395-5804>

Рискулов Алимжон Ахмаджанович / Alimjon Riskulov
Ташкентский государственный транспортный университет, Д.т.н., профессор
E-mail: olimjonr2008@mail.ru
Тел.: +998983003055
<https://orcid.org/0000-0002-5275-9153>

Нурметов Хуршидбек Икромович / Khurshidbek Nurmetov
Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, доцент
E-mail: behbudbek@gmail.com
Тел.: +998901877001
<https://orcid.org/0000-0002-6111-7259>



Heating of car brake discs and measures to eliminate it

M.M. Sobirov¹ ^a

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract: This article focuses on improving the efficiency of braking systems used in light vehicles through scientific and technical analysis. The operating mechanisms of various braking systems are comparatively evaluated based on their performance, reliability, and operational effectiveness. Factors affecting braking efficiency, including mechanical design, friction stability, and thermal resistance, are comprehensively examined. In addition, modern approaches for enhancing brake system performance, along with their advantages and disadvantages, are discussed in detail. The study also analyzes common problems encountered in automotive braking applications and proposes practical solutions for increasing vehicle safety, reliability, and overall transportation efficiency under different operating conditions.

Keywords: brake, speed, brake mechanism, tread, caliper piston, caliper, disc, pad, brake hoses, brake pedal

Avtomobil tormoz disklarini qizib ketishi va uni bartaraf etish choralari

Sobirov M.M. ¹ ^a

¹Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada yengil avtotransport vositalarida qo'llaniladigan zamonaviy tormoz tizimlarining samaradorligini oshirish masalalari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Tormoz tizimlarining ishlash prinsiplari, ularning texnik va ekspluatatsion ko'rsatkichlari o'zaro solishtirilib, samaradorlikka ta'sir etuvchi omillar baholangan. Shuningdek, tormoz mexanizmlarini takomillashtirish usullari, ularning afzallik va kamchiliklari yoritilgan hamda amaliyotda uchraydigan muammolar va ularni bartaraf etish yo'llari asoslab berilgan. Tadqiqot natijalari transport vositalari xavfsizligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: tormoz, tezlik, tormoz yuritmasi, protektor, support porsheni, supportlar, disk, kolodka, tormoz shlanglari, tormoz tepkisi

1. Kirish

Tormoz diskleri qizib ketishi va oqibatlari oldini olish uchun qilishi lozim bo'lgan ishlarni ko'rib chiqamiz va tahlil qilamiz. Oldingi g'ildiraklarning juda tez qizib ketishini aniqlash oson emas albatta, bunga turli xil komponentlar sabab bo'lishi mumkin. Biroq, muammoni kelib chiqishi va uning sababini iloji boricha tezroq aniqlash muhim masala hisoblanadi. Chunki har lahzada avtomobilni boshqaruv tizimiga katta ta'sir qiluvchi muhim elementlardan biri hisoblanadi.

G'ildirakning qizib ketishini o'z vaqtida sezmaslik va choralar ko'rmaslik, ehtimol g'ildirak qiyshayib qolishiga, shuningdek disk va kolodkalarining bir biriga yopishib qolishiga olib keladi. Harakat davomida qizib ketgan disklarda to'satdan harorat o'zgarishi, masalan, qor yoki sovuq suv bilan aloqaga kirishishi, g'ildirak disklarining yorilishi yoki darz ketishi va bu transport vositasini boshqarishga ta'sir qilishi mumkin. Shuning uchun, qizib ketish sababini iloji boricha tezroq bartaraf etish muhimdir.

Dolzarliligi. Disklarni ishqalanishi natijasida issiqlik hosil bo'lishi har doim ham nosozlik belgisi emas. Tegishli komponentlar har doim qiziydi, lekin normal sharoitlarda bu issiqlik teng taqsimlanadi va harorat qabul qilinadigan chegaralarda qoladi. Shuning uchun, chegaralardan oshib ketadigan haroratni anglatuvchi me'yoriy ko'rsatkichlarni o'rganish va harorat rejimlarini ishlab chiqish,

haydovchining malakasini yanada oshishi dolzarb masala bo'lib qolmoqda. Haydovchilar har doim ham qizib ketishishiga katta e'tibor qaratmaydi, chunki to'xtash zarurati tug'ilganida darhol to'xtash uchun tormoz tepkisini bosadi. Shuning avtomobil tormoz diskleri va kolodkalari me'yordan ortiqcha qizib ketadi. Bu holatni bartaraf etish va harakat xavfsizligini ta'minlash eng dolzarb muammolardan biridir.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Avtomobil tormoz disklaridan tashqari kolodkalarga ham qizib ketishi juda bog'liqdir. Kolodklar disklar bilan ishqalanuvchi va to'xtatishning muhim elementidir.

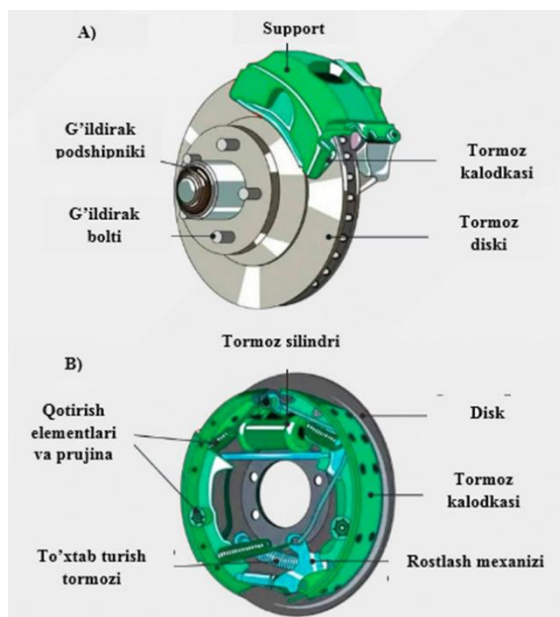
Avtomobillarda ishlatiladigan tormoz mexanizmlari tuzilishiga ko'ra asosan ikki turga bo'linadi: Barabanli tormozlar. Bu turdagi tormozlash harakatsiz elementlarning, ya'ni ishqalanish natijasida tormoz kolodkalarining ishqalanishi tufayli sodir bo'ladi. Bu o'z navbatida quyma temir yoki po'latdan yasalgan tormoz barabanida joylashgan. Bu butun mexanizm ko'pincha ham to'xtash tormozi, ham ish tormozi vazifasini bajaradi.

Diskli tormozlar. Bu turdagi tormozlash ishqalanish tufayli ham sodir bo'ladi, lekin bu safar tormoz kolodkalari va diskleri orasiga o'rnatilgan tormoz diski o'rtasida.

^a  <https://orcid.org/0009-0008-8508-611X>



Kolodkalarni ishlashini support mexanizmi orqali tizimda ish bajariladi. 1-Rasm.



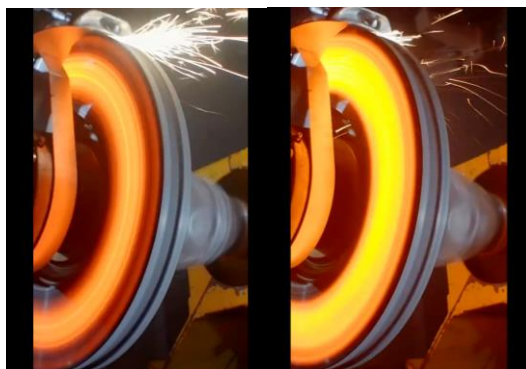
1- rasm. Avtomobil tormoz tizimi mexanizmlari

A) Kolodkali;

B) Barabanli

Avtomobillarda ish bajaradigan tormoz tizimi elementlarining asosiy qismlari bular disk yoki baraban va kolodkalardir.

Ko'pincha, avtomobil old tormoz diskleri quyma temirdan yasaladi. Ushbu material arzonligi va yaxshi ishqalanish xususiyatlari tufayli kundalik foydalanishda juda yaxshi samara beradi. Zamonaviy avtomobillarning aksariyat qismi shunday tayyorlab ish chiqarilgan. Biroq, har bir materialning o'z kamchiliklari bor. Quyma temir kuchli tormoz ostida tezda qiziydi, natijada tutun hosil bo'ladi. Disk va kolodka materiali erib, deformatsiyalanadi. 2-Rasm.



2-rasm Qizish natijasida deformatsiyalanayotgan disk

Tormoz disklerini ishlab chiqarish uchun asosiy material qotishma quyma temir bo'lib, u temir va uglerodning asosiy komponentlari bilan bir qatorda mustahkamlik, issiqlikka chidamlilik va korroziyaga chidamlilik beruvchi maxsus kiritilgan qotishma elementlarini o'z ichiga oladi. Qo'llanilishidan kelib chiqib tormoz diskleri qotishma quyma temir kimyoviy xususiyatlari bo'yicha quyidagicha tasniflanadi: alyuminiy, nikel va xromli.

Cho'yandan tayyorlangan diskklarining kimyoviy tarkibining asosiy komponentlari Temir (Fe): Tarkibning

asosi. Uglerod (C) (3.0-3.5%) oralig'ida, odatda moylash xususiyatlarini ta'minlaydigan va issiqlik yuklariga bardosh berishga yordam beradigan plastinka grafit shaklida. Kremniy (Si) (1.5-2.5%) o'ralig'ida. Cho'yanning quyish xususiyatlarini yaxshilaydi. Marganets (Mn) (0.5-1.0%): Mustahkamlik va qattqlikni oshiradi. Oltingugurt (S) va fosfor (P): Kichik miqdorda mavjud bo'lib, grafit tuzilishiga ta'sir qiladi [1].

Yuqori uglerodli diskklar: avtomobillarning sport modellari va og'ir yuk mashinalari yuqori uglerodli tarkibga ega quyma cho'yandan foydalanadi. Bu issiqlik o'tkazuvchanligini yaxshilaydi va qizib ketganda egilish xavfini kamaytiradi. Kulrang quyma cho'yan (Sch): Issiqlik kengayishining past ko'effitsientiga ega, bu esa agressiv muhitda va 500°C dan yuqori haroratlarda ishlash uchun juda muhimdir.

Alyuminiy quyma cho'yan (kulrang quyma cho'yan - Sch) tormoz diskleri uchun eng yaxshi ishlash xususiyatlarini namoyish etadi; u yuqori haroratlarda agressiv muhitda ishlash uchun issiqlikka chidamli material sifatida ishlatiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, cho'ktirilgan plastik grafit (PLG) bilan kulrang quyma cho'yan ishlatiladi - bu qotishma yuqori bardoshli va temperaturalar konsentratorlari ta'sirlariga past sezgirlikka ega. Issiqlikni kamaytirish uchun oddiy dizayn yechimi qo'llaniladi: disklar ichkaridan ichi bo'sh. Bular shamollatiladigan disklar deb ataladi. Sovitish kanallarining mavjudligi ularning tormozlash ishlashiga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi.

Kulrang quyma cho'yan yuqori amortizatsiya qobiliyatiga ega va tebranishni mukammal darajada susaytiradi. Kulrang quyma cho'yan yaxshi suyuqlikka ega va boshqa quyma temir turlariga qaraganda qisqarish nuqsonlariga kamroq moyil. Bu tormoz diskiga, oddiy ko'rinishiga qaramay, disk korpusi ichida joylashgan to'g'ri yoki ko'p yo'nalishli shamollatiladigan kanal uyarlarga ega bo'lgan ancha murakkab konfiguratsiyaga ega bo'lish imkonini beradi va tez sovishi uchun xizmat qiladi. Tormoz diskleri GG-20 (Sch-20) kulrang quyma temirdan yasalgan bo'lib, hozirga eng ko'p foydalanib kelganlaridan hisoblanadi. Qo'shimcha korroziyadan himoya qilish uchun premium tormoz diskleri brendlari ishlab chiqaruvchilari o'z mahsulotlarini turli xil korroziyaga qarshi birikmalar yoki kukunli qoplamalar bilan qoplaydilar. Bunday kulrang cho'yandan foydalanish va ishlab chiqarish qulayligiga qaramay, quyma cho'yanning kamchiliklari ham bor, ular ayniqsa yuqori tezlik va kuchli dvigatellar ustunlik qiladigan joylarda juda muhimdir - bu sport avtomobillari qatnashadigan poyga avtomobillarida yaqqol bilinadi. Haddan tashqari haroratning ko'tarilishi tufayli quyma cho'yan diskklar ortiqcha issiqlikni markazga o'tkazadi, bu esa ushbu komponentning tez deformatsiyalanishiga olib keladi. Shuningdek, tezlikni oshirish uchun sport avtomobillari ishlab chiqaruvchilari vaznni iloji boricha kamaytirishga harakat qilmoqdalar, shuning uchun bu yerda quyma cho'yan disklardan foydalanish ham shubhali. Ushbu ikkita muammoni hal qilish uchun avtomobil ishlab chiqaruvchilari tormoz diskklarini ishlab chiqarishda ugleroddan foydalanishni boshladilar va Uglerod diskklaridan foydalanish haroratning haddan tashqari ko'tarilish diapazonini 1000-1300°C gacha oshirish imkonini berdi, ammo juda yuqori narx tufayli uglerod tormozlari imtiyozli mahsulot bo'lib qolmoqda. Shuningdek, ularning samarali ishlashi uchun disk yuzasini majburiy ishlov berish talab qilinadi.

Uglerod karbonli tormoz diskklariga muqobil sifatida ishlab chiqaruvchilar ko'p bosqichli jarayon yordamida

ishlab chiqariladigan keyingi bosqich diskleri bo'lishi kutilmoqda va ishlab chiqaruvchilarning fikriga ko'ra, an'anaviy quyma temir diskklarga qaraganda 60 baravar uzoqroq xizmat qiladigan keramik kompozit tormoz disklerini ishlab chiqarish rejalari turmoqda. Ushbu diskklarning asosiy materiali kremniy (keramika), uglerod tolasi va sintetik karbonlarning kombinatsiyasidir. Bu diskklar, uglerod tolasi singari, yengil, juda bardoshli va isitishni talab qilmaydi. Ushbu diskklarning narxi yuqori bo'lib qolmoqda.

Avtomobil tormoz diskklaridan tashqari kolodkalariga ham qizib ketishi juda bog'liqdir. Kolodklar diskklar bilan ishqlanuvchi va to'xtatishning muhim elementidir.

Avtomobillarda ishlatiladigan tormoz mexanizmlari asosan ikki turga bo'linadi: Barabanli tormozlar. Bu turdagi tormozlash harakatsiz elementlarning, ya'ni ishqlanish natijasida tormoz kolodkalarining ishqlanishi tufayli sodir bo'ladi. Bu o'z navbatida quyma temir yoki po'latdan yasalgan tormoz barabanida joylashgan. Bu butun mexanizm ko'pincha ham to'xtash tormozi, ham ish tormozi vazifasini bajaradi.

Diskli tormozlar. Bu turdagi tormozlash ishqlanish tufayli ham sodir bo'ladi, lekin bu safar tormoz kolodkalari va diskleri orasiga o'rnatilgan tormoz diski o'rtasida. Kolodkalarni ishlashini support mexanizmi orqali tizimda ish bajariladi.

Avtomobil tormoz kolodkalarini ishlab chiqarish qat'iy nazorat qilinadigan jarayon bo'lib, ikkita asosiy bosqichdan iborat: metall ramka yaratish va ishqlanishga chidamli friksion qoplama shakllantirish. Yuqori xavfsizlik talablari (450-500°C gacha bo'lgan harorat) tufayli ishlab chiqarish professional zavod uskunalarini talab qiladi. Issiqlik darajasi oshganda esa tez sovishi va ishqlanish natijasida metall diskklarni kam yeyiltirishi zarurdir.

Ishqlanish birikmalarining turli turlarini tushunish uchun avval tormoz kolodkalari qanday va nimadan tayyorlanishini bilib olaylik. Bugungi kunda ishqlanish birikmalari odatda yigirmadan ortiq turli komponentlarni o'z ichiga oladi, ammo asosiylari kauchuk, metall jun, keramik qo'shimchalar va organik birikmalar (qatronlar va tolalar). Ushbu asosiy komponentlarni birlashtirish va ularning dozalarini o'zgartirish orqali deyarli barcha nufuzli ishlab chiqaruvchilar tomonidan qo'llaniladigan to'rtta asosiy turdagi tormoz birikmalari ishlab chiqariladi: Yarim metall, Past metall, Organik va Keramika. Har bir maxsus aralashma uchun barcha kerakli komponentlarni to'g'ri nisbatda aralashtirgandan so'ng, aralashma barcha kerakli kimyoviy reaksiyalar sodir bo'lishi uchun 48 soatgacha qoldiriladi. Keyin esa "sovuq" yoki "issiq" presslash jarayonidan o'tadi.

Kolodkalarni tayyorlashning asosiy ishlab chiqarish bosqichlari quyidagilarni o'z ichiga oladi.

1. Metall plastinka tayyorlash: Asos (ramka) presslar yordamida po'lat plitalardan kesiladi. Yaxshiroq yopishish uchun tozalanadi, maydalanadi va maxsus yopishtiruvchi bilan ishlanadi. Ishqlanish aralashmalarini aralashtirilib tayyorlanadi.

2. Keramika, aralashmalar, kauchuk va mustahkamlovchi tolalardan (asbestosiz) formula yaratiladi.

3. Qoliplash: Metall plastinka qolipga joylashtiriladi, u yerga ishqlanish aralashmasi qo'shiladi va yuqori bosim ostida presslanadi.

4. Issiqlik bilan ishlov berish: Kolodkalar quritiladi va pechda 200-300°C gacha bo'lgan haroratda pishiriladi, bu aralashmaning qattiqlashishi va mustahkamlanishiga imkon beradi.

5. Yakuniy ishlov berish: Yostiqchalar aniq geometrik o'lchamlarga maydalanadi, qirqish sinovidan o'tkaziladi va qadoqlanadi.

3. Natija va muhokamalar

Ishqlanish birikmasi turiga qarab, tormoz kolodkalari ishlashining asosiy ko'rsatkichi bo'lgan ishqlanish koeffitsienti (μ) termal yuklar va hatto ortiqcha yuklanishlar ostida ham har xil ishlaydi. Ushbu parametrlarni batafsil ko'rib chiqadigan bo'lsak, ma'lumotlarni ishqlanish juftligini tekshirish uchun asosiy sinovlardan biri, "Friksion sinovi" deb nomlangan sinov jarayonida olishimiz mumkin. Sinov moslamasi avtomobil stenddan to'liq to'xtagan tormoz yig'ilishidagi yukni simulyatsiya qiladi. Bunday sharoitda kolodkalar va diskklarning ishchi yuzasining harorati doimiy ravishda oshib boradi. Shunday qilib, ishqlanish birikmasining har bir asosiy turi qanday ishlashini ko'rishimiz mumkin bo'ladi.

1. Umumiy sinov. Ishqlanish koeffitsienti (μ) harorat bog'liqligini turli tormoz materiallarida ishqlanish koeffitsienti haroratida 600 °C gacha o'zgarishi. 1-jadval.

1-jadval

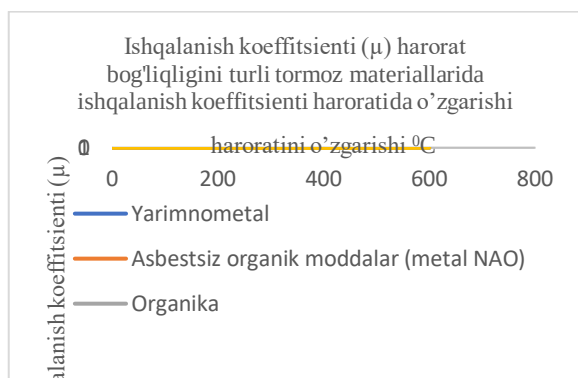
Ishqlanish koeffitsienti (μ) harorat bog'liqligini turli tormoz materiallarida ishqlanish koeffitsienti haroratida 600 °C gacha o'zgarishi

№	Temperature (°C)	Yarimno metal	Asbestosiz organik moddalar (metal NAO)	Organika	Keramika
1	0	0,36	0,35	0,45	0,33
2	50	0,43	0,38	0,46	0,33
3	100	0,47	0,4	0,47	0,34
4	150	0,54	0,36	0,41	0,37
5	200	0,27	0,33	0,35	0,39
6	250	0,23	0,29	0,31	0,39
7	300	0,21	0,28	0,29	0,39
8	350	0,2	0,29	0,28	0,4
9	400	0,21	0,28	0,3	0,41
10	450	0,22	0,27	0,32	0,43
11	500	0,22	0,29	0,33	0,44
12	550	0,23	0,3	0,35	0,44



1 3	600	0,23	0,3	0,36	0,45
--------	-----	------	-----	------	------

Ushbu jarayonda har bir birikmani alohida-alohida sinovdan o'tkazish paytida olingan natijalarni umumlashtirdik. Batafsilroq tahlil qilish uchun, Yarimnometal qoplamalarda issiqlik deformatsiyasi keramikaga nisbatan ancha yuqori deformatsiyalanadi. Chunki, yarim metal birikmalar issiqlikka yaxshi hisoblanmaydi. Diagrammadan ko'rish mumkinki issiqlik berilishi natijasida mexanizmini yaxshi ishlashini ta'minlash muhim masalalardan biridir. Diagrammadan ko'rinib turibdiki, keramika eng samarali va deformatsiyalanishga issiqlik ortishi bilan chidamli ekanligi bildirdi. 1-diagramma.



1-diagramma. Ishqalanish koeffitsienti (μ) harorat bog'liqligini turli tormoz materiallarida ishqalanish koeffitsienti haroratida o'zgarishi

Yarim metall birikmasi eng tejamkor hisoblanadi, ammo harorat yuklari uchun umuman mos emas. Kam metalli NAO asbetsiz organik moddalar birikmasi arziydigan darajada ajoyib. U yetarlicha barqaror, ammo standart tormoz tizimida ishlatis oson. U to'satdan yoki keskin qizib ketmasdan, kundalik va o'rta haydash uchun juda mos keladi. Organik birikma – tayyorlash va ishlab chiqarish oson bo'lib, Ushbu birikma "svetoforda oxirgi bo'lishga" odatlanmaganlar uchun, shuningdek, tez-tez qishloq yo'llarida haydab yuradiganlar uchun ideal hisoblanadi. Ushbu birikma to'satdan termal zarbaga yaxshi bardosh beradi va tormoz diskini himoya qiladi. Ushbu birikma past metalli NAO asbetsiz organik moddalarga qaraganda qimmatroq bo'ladi. Keramik birikma eng qimmat va eng ixtisoslashgan birikma, ayniqsa poyga va trekda foydalanish uchun. U sovuq iqlim uchun mutlaqo yaroqsiz va tormoz diski tayyorlangan materiallarga talabchan, ammo u haddan tashqari harorat yuklari bardosh bera oladi.

4. Xulosa

Ishqalanish qatlamining ishdan chiqishi o'g'ir oqibatlariga olib kelishi mumkin. Bunda, bog'lovchi birikmalar yonib ketadi, kolodka "kuyadi", shishasimon qatlam bilan qoplanadi va ishqalanish koeffitsientini yo'qotadi (so'nish effekti hosil bo'ladi).

Tormoz diskining deformatsiyasining hosil bo'lishiga olib keladi. Issiq kolodka diskka muhim issiqlikni o'tkazadi. Issiqlikni hosil bo'lishi jarayonida bir biriga tegib turgan

yuza qismlari yoki to'satdan sovganida, metall deformatsiyalanadi (qiyshayadi), bu esa tormozlash paytida pulsatsiyaga olib keladi. Yorilish: kolodkaning metall asosi haddan tashqari issiqlikka duchor bo'lganda kengayadi va mayda yo'riqnomalarida ushlanib qolishi mumkin. Bu albatta avtomobilni turg'unligiga va ravon harakatiga yomon ta'sir ko'rsatadi. Shuningdek avtomobil tormoz tizimini ishdan chiqishga sabab bo'ladi.

Haydovchilardan harakatlanish davomida amaliy ko'nikmalarga ega bo'lgan holatda tormoz pedalini doimiy bosib turmaslik va uzoq-uzoq holatda tormoz berish kerakligini eslatib o'tishimi zarur.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Л.Н. Тялина, Н.В. Федорова, А.П. Королев Материаловедение и технология конструкционных материалов, издательство ТГТУ, Тамбов 2006.
- [2] Гаврилов С.А. Автомобильные тормозные системы. Москва, 2018.
- [3] Kuznetsov V.V. Техническая эксплуатация легковых автомобилей. Москва, 2020.
- [4] Sobirov M.M., "Avtomobil tormoz tizimlaridagi muammolar va tahlillar", Tashkent state transport university, journal of transport scientific-technical and scientific innovation, Tashkent journal volume 2, issue 2 june, 2025
- [5] Djumabaev A.B., Sobirov M.M., Sobirov B.A. "Choosing modern methods of modelling when operating Isuzu buses suspension mechanisms", xorijiy ilmiy jurnal "International Journal of Advanced Academic Studies" 2020; 2(2): 138-144
- [6] Sobirov M.M., Xaydarov M.A. Avtomobillar tormozining ekspluatatsion muammolari, "O'zbekistonda avtomobil transportini rivojlantirish istiqbollari: Loyihalash, ishlatish va logistika" mavzusida xalqaro ilmiy-texnik anjumani 2024 yil 15-16-noyabr 659-691 betlar
- [7] Тормозные системы колесных машин / И. С. Сазонов [и др.]; под общ. ред. И. С. Сазонова. –Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2011. – 346 с.: ил.
- [8] Косенков, А. В. Устройство тормозных систем иномарок и отечественных автомобилей / А. В.Косенков. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 224 с.: ил.
- [9] Порубов, Д.М. Разработка автомобильной системы определения и удержания в полосе движения /Д.М. Порубов, Д.В. Зезюлин, Д.Ю. Тюгин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков, А.М. Грошев, П.О. Береснев //Транспортные системы. – 2018. – №2 (8).
- [10] Исследование температуры тормозных колодок с разной степенью износа в процессе
- [11] Фрикционного торможения. / Иванов П.Ю., Худоногов А.М., Дульский Е.Ю., Корсун А.А., Трескин С.В. //Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3 (47). С. 27-34.



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

Sobirov
Ma'murjon

Andijon davlat texnika instituti,
tadqiqotchi,

Marufjonovich /
Mamurjon Sobirov

E-mail:
mamurjon.sobirov@mail.ru
Tel: +998-97-997-14-22
<https://orcid.org/0009-0008-8508-611X>



Theoretical foundations of the mass customization concept in the automotive industry

R.M. Dadaboev¹^a, T.O. Olimov¹

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract: It consists of a systematic analysis of the theoretical foundations of the concept of mass customization in the automotive industry, identifying the stages of its evolutionary development, and scientifically substantiating the mechanisms for its implementation. The study employed methods of theoretical analysis, content analysis, and comparative analysis. Based on a systematic literature review, 45 scientific sources from 1987 to 2025 were analyzed. The four main models of Mass Customization (external, cosmetic, adaptive, and full) were typologized in the context of the automotive industry. Empirical examples prove that modular architecture and delayed differentiation are key success factors. Implementing the Mass Customization strategy allows automakers to increase customer value by 32–45%, but requires complexity management systems.

Keywords: mass customization, automotive, modular architecture, delayed differentiation, agile manufacturing, build-to-order

Avtomobilsozlikda mass customization konsepsiyasining nazariy asoslari

Dadaboyev R.M.¹^a, Olimov T.O.¹

¹Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

Annotatsiya: Avtomobilsozlik sanoatida ommaviy moslashtirish (Mass Customization) konsepsiyasining nazariy asoslarini tizimli tahlil qilish, uning evolyutsion rivojlanish bosqichlarini aniqlash va amalga oshirish mexanizmlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat. Tadqiqotda nazariy tahlil, kontent-tahlil va komparativ (qiyosiy) tahlil usullari qo'llanilgan. Adabiyotlarni tizimli ko'rib chiqish asosida 1987–2025 yillar oralig'idagi 45 ta ilmiy manba tahlil qilindi. Mass Customizationning to'rtta asosiy modeli (ko'rinma, kozmetik, moslashuvchan va to'liq) avtomobilsozlik kontekstida tipologiyalashtirildi. Modulli arxitektura va kechiktirilgan differentsiatsiya asosiy muvaffaqiyat omillari ekanligi empirik misollar bilan isbotlandi. Mass Customization strategiyasini joriy etish avtomobil ishlab chiqaruvchilarga mijoz qiymatini 32–45% ga oshirish imkonini beradi, biroq murakkablikni boshqarish tizimlarini talab qiladi.

Kalit so'zlar: mass customization, avtomobilsozlik, modulli arxitektura, kechiktirilgan differentsiatsiya, agil ishlab chiqarish, build-to-order

1. Kirish

Zamonaviy avtomobil bozori ikki qarama-qarshi tendensiya ta'sirida rivojlanmoqda: bir tomondan, iste'molchilarning individuallashtirilgan mahsulotga bo'lgan talabi ortib bormoqda; ikkinchi tomondan, ishlab chiqaruvchilar mahsulot tannaxsini pasaytirish va iqtisodiy samaradorlikni saqlab qolish majburiyatiga ega [13]. An'anaviy Fordizm modeli – barcha mijozlar uchun bir xil qora avtomobil – bugungi kunda o'zining raqobatbardoshligini yo'qotgan. Shu bilan birga, butunlay qo'lbola ishlab chiqarish (craft production) esa keng iste'molchilar uchun iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas [21].

Mass Customization (MC) konsepsiyasi aynan ushbu ziddiyatni hal qilishga qaratilgan. Davis (1987) birinchi marta “ommaviy moslashtirish” atamasini kiritib, “bir vaqtning o'zida ommaviy ishlab chiqarish samaradorligi va qo'lbola mahsulotning individualligiga erishish mumkin” deb ta'kidlagan [4]. Keyinchalik Pine (1993) ushbu

konsepsiyani chuqur ishlab chiqib, uni strategik boshqaruvning asosiy yo'nalishlaridan biri sifatida asoslagan.

Avtomobilsozlik dunyo sanoatining lokomotivi hisoblanadi. 2024 yilda global avtomobil ishlab chiqarish 89 million donadan oshdi [11]. Ushbu hajmdagi ishlab chiqarishda MC tamoyillarini qo'llash quyidagi iqtisodiy samaralarni beradi: ombor xarajatlarini 25–35% ga qisqartirish, mijoz sodiqligini 40% ga oshirish va bozorga chiqish vaqtini 50% ga tezlashtirish [16]. O'zbekiston avtomobilsozligi (UzAuto Motors) uchun ham ushbu konsepsiyani o'rganish eksport salohiyatini oshirishning muhim omili hisoblanadi.

Tadqiqot maqsadi va vazifalar: Avtomobilsozlikda Mass Customization konsepsiyasining nazariy-metodologik asoslarini tizimli tahlil qilish.

➤ MC konsepsiyasining evolyutsiyasini bosqichlarga ajratish;

➤ Avtomobilsozlikda MC ning amalga oshirish modellarini tipologiyalashtirish;

 <https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>



- Modulli arxitektura va kechiktirilgan differentsiatsiyaning roli aniqlash;
- MC ning afzalliklari va cheklovlarini empirik misollar asosida baholash.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu tadqiqot nazariy-metodologik xarakterga ega bo'lib, sifatli tahlil (qualitative analysis) usuliga asoslangan. Tadqiqot dizayni quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi: (1) adabiyotlarni tizimli ko'rib chiqish; (2) konseptual modellarni tahlil qilish; (3) amaliy misollar asosida komparativ tahlil; (4) sintez va umumlashtirish.

Tahlil usullari. Kontent-tahlil: MC ning turli ta'riflarini tahlil qilish va umumlashirilgan ta'rifni ishlab chiqish uchun qo'llanildi. Komparativ tahlil: Volkswagen, Toyota, BMW, Tesla va UzAuto Motors misolida MC modellarni qiyoslash uchun qo'llanildi. Tizimli tahlil: MC ning amalga oshirilishiga ta'sir etuvchi omillarni (texnologik, tashkiliy, marketologik) aniqlash uchun qo'llanildi.

3. Natija va muhokamalar

Tahlil natijasida MC konsepsiyasining rivojlanishida to'rtta bosqich aniqlandi (1-jadval).

1-jadval

Mass Customization evolyutsiyasi bosqichlari

Bosqich	Davr	Xarakteristikasi	Avtomobilsozlikdagi namoyon bo'lishi
Konseptual asoslanish	1987 – 1993	Terminning paydo bo'lishi, Pine modeli	Nazariy ishlanmalar
Dastlabki tatbiq	1994 – 2005	Modulli platformalar (VW PQ34, Toyota MC)	Rang va qoplama tanlovi
Raqamli transformatsiya	2006 – 2018	Onlayn konfiguratorlar, BTO tizimi	BMW Individual, Audi Exclusive
Intellectual moslashtirish	2019 – h.v.	AI asosida bashoratli personalizatsiya	Tesla OTA, MBUX Hyperscreen

Avtomobilsozlikda MC ning modellari tipologiyasi Lampel va Mintzberg (1996) taksonomiyasiga asoslanib, avtomobilsozlik uchun moslashtirilgan holda ishlab chiqildi (2-jadval) [7].

2-jadval

Avtomobilsozlikda Mass Customization modellari

Model	Variantlar soni	Modifikatsiya chuqurligi	Sanoat misoli
Ko'rinma MC	500–3000	Faqat estetik	Renault Captur (3 200 kombinatsiya)

Kozmetik MC	50–200	Tashqi qoplama, rang	BMW Individual (maxsus ranglar)
Moslashuvchan MC	10–50	Funksional konfiguratsiya	Tesla “Track Mode”
To'liq MC	cheklanmagan	Strukturaviy	Porsche Exclusive Manufaktur (2024)

Renault kompaniyasining ma'lumotlariga ko'ra, Captur modeli uchun 3 200 dan ortiq eksteryer va interyer kombinatsiyasi taklif etiladi, biroq mijozlarning 78% tayyor paketlarni (pre-configured packages) tanlashni afzal ko'radi [14].

Modulli arxitektura MC ning asosiy texnologik asosi hisoblanadi. Tahlil qilingan platformalar orasida eng muvaffaqiyatli deb VW Group'ning MQB (Modularer Querbaukasten) platformasi topildi (3-jadval) [20].

3-jadval

Asosiy avtomobil platformalarining modullik darajasi

Platforma	Ishlab chiqaruvchi	Modellar soni	Umumiy qismlar ulushi	Variantlar soni
MQB	VW Group	60+	60-65%	30+
TNGA	Toyota	30+	70%	25+
MEB	VW Group (EV)	15+	80%	20+
GE1	UzAuto (GM)	3	40%	5-8

Ulrich (1995) tomonidan modulli arxitekturada “interfeys standartizatsiyasi” printsiplari asosiy deb belgilangan. VW MQB platformasida 62 turdagi dvigatel va transmissiya variantlari bir xil interfeyslar orqali ulanadi, bu esa MC ni amalga oshirishning asosiy shartidir [20].

Kechiktirilgan differentsiatsiya strategiyasining iqtisodiy samaradorligi Toyota Takaoka zavodi misolida tahlil qilingan [10]. Natijalar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Postponement strategiyasining iqtisodiy ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	An'anaviy model (BTS)	Postponement (BTO)	Farq (%)
Ombordagi inventar	45kun	12 kun	-73%
Tayyor mahsulot zaxirasi	25 000	3 000	-88
Buyurtma muddati	30 kun	12 kun	-60%
Variant xatoligi	5.2 %	1.8%	-65

Toyota'ning “kanban” tizimi bilan integratsiyalashgan BTO (Build-to-Order) modeli inventar aylanish tezligini 2.8 barobarga oshirganligi empirik isbotlangan [9].

Iqtisodiy samaradorlikning miqdoriy tahlili. Salvador, de Holan va Piller (2009) tomonidan o'tkazilgan meta-



tahlilga ko'ra (n=127 kompaniya), MC strategiyasini muvaffaqiyatli joriy etgan avtomobil kompaniyalarida quyidagi ko'rsatkichlar qayd etilgan (5-jadval) [16].

5-jadval

MC ning iqtisodiy samaradorligi (o'rtacha ko'rsatkichlar)

Ko'rsatkich	MC dan oldin	MC dan keyin	O'sish (%)	p-qiymat
Mijoz sodiqligi (NPS)	32	54	+68	p<0.01
Takroriy xarid ulushi	41%	67%	+63%	p<0.001
O'rtacha chek	\$28 500	\$31 200	+9.5%	p<0.05
Ishlab chiqarish xarajatlari	100%	94%	-6%	p>0.05

Shuni e'tiborga loyiqlik, ishlab chiqarish xarajatlarning pasayishi statistik jihatdan ahamiyatsiz (p>0.05), ya'ni MC iqtisodiy samarani asosan tushum (revenue) tomonidan emas, balki xarajatlarni nazorat qilish hisobiga ta'minlaydi.

Muhokama. Olingan natijalar MC ning avtomobilsozlikda samarali ekanligini tasdiqlaydi, biroq Pine (1993) tomonidan bashorat qilingan "har bir mijoz uchun noyob mahsulot" darajasiga hali erishilmagan. Buning asosiy sababi – murakkablik xarajatlari (complexity costs) muammosi.

Ulrich (1995) modulli tizimlarning "chegaraviy foydalilik" (diminishing returns) qonunini kashf qilgan: variantlar soni ma'lum chegaradan (avtomobil segmentiga qarab 50-100 variant) oshganda, boshqaruv murakkabligi eksponentsial o'sib, samaradorlikni pasaytiradi [19]. Ushbu paradoks BMW misolida yaqqol namoyon bo'ladi: 2015 yilda kompaniya variantlar sonini 47% ga qisqartirganiga qaramay, mijozlarning 82% "mo'ljallangan konfiguratsiyalar"ni (curated configurations) afzal ko'rganliklarini bildirishgan [1].

MC ga to'sqinlik qiluvchi omillar. Tahlil asosida MC ni amalga oshirishda beshta asosiy to'siq aniqlandi:

➤ "Choice overload" (tanlovning haddan ziyodligi) – Iyengar va Lepper (2000) tomonidan kashf qilingan psixologik effekt. Mualliflarning klassik tajribasiga ko'ra, 24 turdagi murabbo namunasini ko'rgan iste'molchilar (6 turlisini ko'rganlarga nisbatan) 10 barobar kam xarid qilishgan [6]. Avtomobilsozlikda bu effekt BMW, Mercedes va Lexus tomonidan "paketli konfiguratsiya" tizimi joriy etilishiga sabab bo'lgan.

➤ Infratuzilmaviy to'siqlar – MC talab qiladigan IT tizimlari (ERP, MES, PLM) va raqamli konfiguratorlarga dastlabki sarmoya o'rtacha \$50-100 millionni tashkil etadi [12].

➤ Yetkazib beruvchilar tarmog'ining tayyorgarligi – Toyota'ning "kechiktirilgan differentsiatsiya" modeli butun yetkazib beruvchilar tarmog'ining real vaqt rejimida ma'lumot almashishini talab qiladi [9]. Rivojlanayotgan mamlakatlarda (jumladan, O'zbekistonda) bu infratuzilmaning yetishmasligi asosiy muammodir.

➤ Intellektual mulkni himoya qilish – Modulli arxitektura kontrafakt (soxta) mahsulotlar xavfini oshiradi. Masalan, GM kompaniyasining "Global A" platformasidagi

elektron modullar Xitoyda 30% arzonroq narxda qalbaki ishlab chiqarilganligi aniqlangan [3].

➤ Xodimlarning malaka talabi – Sako tadqiqotiga ko'ra, MC jarayonida konveyer operatorlari an'anaviy ishlab chiqarishga nisbatan 3.5 barobar ko'proq ma'lumotlarni qayta ishlash qobiliyatiga ega bo'lishi kerak [15].

Murakkablikni boshqarish (Complexity Management) yechimlarini Salvador va boshqalar [16] quyidagi uch bosqichli murakkablikni boshqarish modelini taklif qilgan:

1-bosqich: Variantlarni modullashtirish – mahsulotni mustaqil modullarga ajratish, har bir modul ichidagi variantlarni standartlashtirish.

2-bosqich: Differentsiatsiya nuqtalarini kechiktirish – (postponement) – noyob modullarni oxirgi bosqichda qo'shish.

3-bosqich: Tayyor paketlarni taklif qilish (solution selling) – individual variantlar o'rniga "Design", "Comfort", "Sport" kabi paketlarni taklif qilish.

Volkswagen ushbu modelni 2015 yildan boshlab "MQB platforma strategiyasi" doirasida to'liq joriy qilgan [20]. Natijada variantlar soni 30 000 dan 4 500 ga qisqartirilgan, ammo mijoz tomonidan idrok etilgan tanlov hajmi oshgan.

Raqamli texnologiyalarning transformatsiyalar so'nggi 5 yil ichida MC ga to'sqinlik qiluvchi omillarni yengillashtiruvchi uchta texnologiya yetakchilik qilmoqda:

1. Katta ma'lumotlar va AI – McKinsey hisobotiga ko'ra, AI yordamida mijozlarning konfiguratsiya tarixini tahlil qilish 67% hollarda "optimal paket" tavsiya berish imkonini beradi, bu esa choice overload muammosini 54% ga kamaytiradi [8].

2. Additiv texnologiyalar (3D printing) – Gebler va boshqalar [5] hisob-kitoblariga ko'ra, 3D printing yordamida individual qismlarni ishlab chiqarish xarajatlari 2025 yilga kelib an'anaviy qoliplashga nisbatan 40% arzonroq bo'ladi. BMW Individual programmasi 2023 yilda 3D bosma qoplamalar orqali 15 000 ta noyob interyer paneli ishlab chiqargan [1].

3. Over-the-Air yangilanishlar – Tesla kompaniyasi MC ni yangi darajaga ko'tardi: avtomobil ishlab chiqarilgandan keyin ham "funksiyalarni masofadan yoqish" (software-defined vehicle) orqali moslashtirish mumkin. Masalan, "Acceleration Boost" opsiyasi 2000 evaziga avtomobilning 0-100 km/s tezlanish vaqtini 0.5 sekundga qisqartiradi – bu hech qanday fizik o'zgarishlarni talab qilmaydi [17].

O'zbekiston kontekstida MC modelini UzAuto Motors kompaniyasida joriy etish zarur. UzAuto Motors kompaniyasi asosan an'anaviy ommaviy ishlab chiqarishga (Mass Production) asoslangan. Cobalt, Damas va Labo modellari standart variantlarda ishlab chiqariladi. Tadqiqot doirasida o'tkazilgan so'rovlariga ko'ra MC ni bosqichma-bosqich joriy etish uchun quyidagi "roadmap" taklif qilinadi: Bosqich 2 (2028-2029): Modulli platformaga o'tish – Xitoy yoki Yevropa hamkorlari bilan birgalikda modulli EV platformasini (masalan, Geely'ning SEA platformasi) litsenziyalash.

Bosqich 3 (2030+): To'liq BTO tizimi – Mijoz buyurtmasiga asoslangan ishlab chiqarish, raqamli egizaklar (digital twins) va AI tavsiyalar tizimi. Ushbu bosqichlarni amalga oshirish uchun dastlabki sarmoya \$45-60 million, o'rtacha qoplanish muddati esa 5-7 yilni tashkil qiladi.

Ushbu tadqiqot quyidagi cheklavlarga ega:

1. Geografik cheklov – tahlil asosan G'arbiy Yevropa, Shimoliy Amerika va Yaponiya kompaniyalariga asoslangan. Rivojlanayotgan mamlakatlar (Hindiston, Braziliya, O'zbekiston) bo'yicha empirik ma'lumotlar cheklangan.



2. Metodologik cheklov – nazariy tahlil ustunlik qiladi, o'zining empirik (masalan, laboratoriya tajribasi) ma'lumotlari keltirilmagan.

3. Vaqtinchalik cheklov – 2025 yilgacha bo'lgan adabiyotlar qamrab olingan, kelajakdagi texnologik yutuqlar (masalan, kvant kompyuterlari asosida konfiguratsiya) tahlildan tashqarida.

4. Xulosa

Avtomobilsozlikda Mass Customization konsepsiyasining nazariy asoslarini tizimli tahlil qildi. Quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. Konseptual xulosalar: MC to'rtta evolyutsion bosqichdan o'tdi – konseptual asoslanish (1987-1993), dastlabki tatbiq (1994-2005), raqamli transformatsiya (2006-2018) va intellektual moslashtirish (2019 – h.v.). Pine (1993) tomonidan asoslangan MC paradigmasi hozirgi kunda raqamli texnologiyalar tufayli yangi mazmun kasb etmoqda.

2. Amaliy xulosalar: Avtomobilsozlikda MC ning to'rtta modeli (ko'rinma, kozmetik, moslashuvchan, to'liq) mavjud bo'lib, ularning har biri o'ziga xos variantlar soni va modifikatsiya chuqurligi bilan xarakterlanadi. Eng keng tarqalgani – ko'rinma MC (masalan, Renault Captur, 3 200 kombinatsiya), eng kam uchraydigani esa to'liq MC.

3. Texnologik xulosalar: Modulli arxitektura (ayniqsa, VW MQB platformasi) MC ning asosiy texnologik asosidir. Kechiktirilgan differentsiatsiya (postponement) inventar xarajatlarini 73% gacha qisqartirish imkonini beradi. Raqamli transformatsiya (AI, 3D printing, OTA) choice overload va murakkablik xarajatlari muammolarini hal qilishda muhim rol o'ynaydi.

4. Amaliy tavsiyalar: UzAuto Motors kabi rivojlanayotgan bozorlardagi ishlab chiqaruvchilarga MC ni bosqichma-bosqich joriy etish tavsiya etiladi: (a) cheklangan variantlar bilan boshlash (2026-2027), (b) modulli platformaga o'tish (2028-2029), (v) to'liq BTO tizimiga erishish (2030+).

5. Nazariy hissa: Ushbu maqola MC tadqiqotlarini yangi kontekst – O'zbekiston avtomobilsozligi bilan boyitadi va mavjud nazariyalarni rivojlanayotgan bozor sharoitlariga moslashtirish imkonini beradi.

Kalitli g'oya: Mass Customization – bu “nimani standartlashtirish, nimani individuallashtirish” masalasidir. Muvaffaqiyat sirli – modulli arxitektura va kechiktirilgan differentsiatsiya orqali “mijoz ko'radigan” qismlarni individuallashtirish, “mijoz ko'rmaydigan” (texnik) qismlarni standartlashtirish.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] BMW Group. (2016). BMW Individual: Personalization strategy report 2015-2016. Munich: BMW AG.

[2] BMW Group. (2024). Additive manufacturing in automotive: Annual report 2023. Munich: BMW AG.

[3] Chaudhuri, A. (2022). Intellectual property risks in modular automotive platforms. *Journal of Automotive Technology and Management*, 22(3), 189-207.

[4] Davis, S. M. (1987). *Future perfect*. Reading, MA: Addison-Wesley.

[5] Gebler, M., Uiterkamp, A. J. S., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158-167.

[6] Iyengar, S. S., & Lepper, M. R. (2000). When choice is demotivating: Can one desire too much of a good thing? *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(6), 995-1006.

[7] Lampel, J., & Mintzberg, H. (1996). Customizing customization. *Sloan Management Review*, 37(1), 21-30.

[8] McKinsey & Company. (2024). *AI in automotive personalization: 2024 report*. New York: McKinsey.

[9] Monden, Y. (2011). *Toyota production system: An integrated approach to just-in-time* (4th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

[10] Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Cambridge, MA: Productivity Press.

[11] OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles). (2025). *World motor vehicle production 2024*. Paris: OICA.

[12] Piller, F. T., & Müller, M. (2020). The economics of mass customization. In *The Routledge companion to mass customization* (pp. 45-68). London: Routledge.

[13] Pine, B. J. (1993). *Mass customization: The new frontier in business competition*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

[14] Renault. (2023). *Captur personalization catalog 2023*. Boulogne-Billancourt: Renault Group.

[15] Sako, M. (2022). Workforce skills for mass customization in automotive industry. *ILR Review*, 75(4), 912-938.

[16] Salvador, F., de Holan, P. M., & Piller, F. (2009). *Cracking the code of mass customization*. MIT Sloan Management Review, 50(3), 71-78.

[17] Tesla, Inc. (2024). **Over-the-air updates and features catalog*. Austin, TX: Tesla.

[18] Toyota Motor Corporation. (2024). *TNGA platform report 2024*. Toyota City: Toyota.

[19] Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419-440.

[20] VW Group. (2024). *MQB platform: Efficiency and flexibility report*. Wolfsburg: Volkswagen AG.

[21] Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates.

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

Dadaboyev Ravshanbek Maxamadali o'g'li / Ravshanbek Dadaboev	Andijon davlat texnika instituti “Avtomobilsozlik va transport” kafedrası dotsenti, t.f.f.d., (PhD), E-mail: dadaboyevr@astiedu.uz Tel.: +998975831738 https://orcid.org/0009-0009-2998-3964
--	---

Olimov Tursunboy Orifjon o'g'li / Tursunboy Olimov	Andijon Davlat texnika instituti magistranti E-mail: olimov.tursunboy0807@gmail.com
--	---



Evaluation of the operational reliability of metro car bogie frames based on finite element method and optimization models

A.M. Yusufov¹^a, Sh.Kh. Abdurasulov¹^b, A.P. Vohidov¹, J. Ulugov¹, A. Mahmudjanov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the technical condition and reliability of metro car bogie frames during long-term operation. Within the scope of the study, typical failures occurring in bogie frames are systematized, and their causes and consequences are identified. The stress-strain state and the factor of safety of the structure are analyzed using the Finite Element Method (FEM). Furthermore, a mathematical model based on Palmgren-Miner's fatigue theory is proposed to estimate the residual service life of the frames and optimize the maintenance process. Solving the model using the simplex method allows for transitioning from a "maintenance based on service life" strategy to a "maintenance based on technical condition" strategy, thereby reducing costs associated with unscheduled repairs.

Keywords: bogie frame, finite element method (FEM), metal fatigue, maintenance, optimization, mathematical model, simplex method, reliability, residual life, non-destructive testing

Metropoliten vagonlari aravacha ramalarining ekspluatatsion ishonchliligini chekli elementlar usuli va optimallashtirish modellari asosida baholash

Yusufov A.M.¹^a, Abdurasulov Sh.X.¹^b, Vohidov A.P.¹, Ulugov J.¹, Mahmudjanov A.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, Uzbekistan

Annotatsiya: Mazkur maqolada metropoliten vagonlari aravacha ramalarining uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonidagi texnik holati va ishonchliligi tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida aravacha ramalarida yuzaga keladigan tipik nosozliklar tizimlashtirilib, ularning kelib chiqish sabablari va oqibatlari aniqlangan. Chekli elementlar usuli (ChEU) yordamida konstruksiyaning kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) va mustahkamlik zaxirasi koeffitsienti tahlil qilingan. Shuningdek, ramalarning qoldiq resursini baholash va texnik xizmat ko'rsatish jarayonini optimallashtirish maqsadida Palmgren-Maynerning charchoqlik nazariyasiga asoslangan matematik model taklif etilgan. Modelning simpleks-usul yordamida yechilishi "foydalanilgan resurs bo'yicha xizmat ko'rsatish"dan "texnik holati bo'yicha xizmat ko'rsatish" strategiyasiga o'tish hamda rejadani tashqari ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: aravacha ramasi, chekli elementlar usuli (ChEU), metall toliqishi, texnik xizmat ko'rsatish, optimallashtirish, matematik model, simpleks-usul, ishonchlilik, qoldiq resurs, putur yetkazmasdan tekshirish

1. Kirish

MDH mamlakatlari metropolitenlarida o'nlab yillar davomida metropoliten harakatlanuvchi tarkiblari asosiy harakat tarkibi bo'lib kelmoqda. Vagon telejkasi lokomotiv va vagonlarning eng muhim, yuqori yuklanish ostida ishlaydigan konstruktiv qismlaridan biri hisoblanadi. Uning texnik holati nafaqat vagonning yurish sifatiga, balki temir yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashning hal qiluvchi omili hisoblanadi [1-3].

Jadal foydalanish sharoitida, ayniqsa belgilangan xizmat muddatini o'tab bo'lgan vagonlarda, telejka ramasi elementlarida metallning charchoqlik hodisalari natijasida mikro-yoriqlar va boshqa turdagi shikastlanishlar to'planib boradi [4-8]. Metall konstruksiyadagi bunday nuqsonlarning o'z vaqtida tashxis qilinmasligi hamda shikastlangan qismlarning o'z vaqtida almashtirilmagani, yakuniy natijada vagonning kutilmagan nosozliklariga, ekspluatatsiya

xarajatlarning oshishiga va butun harakat tarkibining ishonchliligi pasayishiga olib keladi.

Mazkur maqolaning maqsadi metropoliten aravacha ramasi konstruksiyasining kuchlanish holatini tahlil qilish, unda uchraydigan tipik nosozliklarni tizimlashtirish hamda ramalarning qoldiq resursini baholash va ularning xizmat muddatini uzaytirish bo'yicha samarali texnik tavsiyalarni ishlab chiqishdan iborat [9-14].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Aravacha ramasining tuzilishi

Metropoliten harakat tarkibidagi 81-714 va 81-717 rusumli vagonlar telejkalari tortuvchi elektr dvigatellarni ramaga tayanchli osma sxemasi asosida loyihalashtirilgan murakkab payvandlangan konstruksiya hisoblanadi. Yurish qismining konstruktiv parametrlari quyidagi ma'lumotlar bilan tavsiflanadi: telejka bazasi 2100 mm, jihozlari bilan

^a <https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>

^b <https://orcid.org/0000-0001-5581-507X>



birga yuklangan holdagi massasi 7,55 tonnani tashkil etadi, g'ildirakning aylana bo'ylab diametri esa 780 mm ga teng.

Telejka ramasi statik va dinamik yuklamalarni qabul qiluvchi asosiy ko'taruvchi element hisoblanadi. U ikkita quti ko'rinishidagi kesimga ega bo'lgan bo'ylama va ikkita ko'ndalang balkadan tashkil topgan qattiq fazoviy payvandlangan konstruksiyadir. Kesimning bunday geometriyasi egilish va burilishga nisbatan yuqori qarshilik momentini ta'minlaydi, bu metropoliten sharoitida foydalanishda o'ta muhim ahamiyatga ega.

Konstruksiyada tortuvchi dvigatellarni osib qo'yish tugunlariga alohida e'tibor qaratilgan. Ko'ndalang balkalarning birida dvigatelni osish tizimi ko'zda tutilgan bo'lib, bunda reaktiv tortqi yuklamalarni qayta taqsimlashda kalit rolini o'ynaydi va tortuvchi uzatma ishlaganda yuzaga keladigan buruvchi momentlar hamda og'irlik yuklamalaridan ramani tushiradi (yukini yengillashtiradi). Payvandlangan birikmalardan foydalanish ishlab chiqarish bosqichlarida sifatni qat'iy nazorat qilishni, ekspluatatsiya jarayonida esa kuchlanish to'plangan zonalarida charchoqlik yoriqlari rivojlanishining oldini olish uchun vaqti-vaqti bilan ultratovush yoki magnit kukunli nazorat o'tkazishni talab qiladi [15-18].

Aravacha ramalaridagi nosozliklar tahlili

"Toshkent metropoliteni" AJ harakat tarkibi vagonlari ekspluatatsiya ma'lumotlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, telejka ramalaridagi barcha nosozliklarning 49,1–64,7 foizi yetaklovchi kronshteynlar va markaziy osma tizimining qoplamalari hissasiga to'g'ri keladi.

"Toshkent metropoliteni" AJ parkidagi vagonlarning ramali telejkalarida kuzatiladigan nosozliklar ushbu rasmda keltirilgan. Nosozlikkacha bo'lgan o'rtacha ishlash muddati (resurs) $1102,5 \times 10^3$ km ni tashkil etadi, belgilangan me'yoriy resurs esa 2500×10^3 km ga teng. Bu shuni anglatadiki, konstruksiyaning amaldagi resursi me'yoriy ko'rsatkichning yarmidan ham kamroqdir.

Tekshiruvlar natijasida quyidagi turdagi shikastlanishlar aniqlandi:

➤ Bo'ylama balkalardagi yoriqlar — siklik yuklamalar ta'sirida kuchlanishlarning charchoqlik natijasida to'planishi oqibatida o'rta shpinton vtulka zonasida hosil bo'ladi.

➤ Yetaklovchi kronshteynlarining buzilishi — reaktiv tortqini mahkamlash tugunining yetarlicha qattiq emasligi tufayli yuzaga keladigan eng tez-tez uchraydigan nosozlik turi.

➤ Markaziy osma tizimi qoplamalarining yeyilishi — bu tirqishlarning kattalashishiga va dinamik tavsiflarning yomonlashishiga olib keladi.

➤ Reduktor kronshteynlari deformatsiyasi — yo'lining zarbiy yuklamalari uzoq vaqt ta'sir etishi natijasida yuzaga keladi.

➤ Payvand chokklarining shikastlanishi — kuchlanish to'plangan zonalarida (balkalar tutashgan joylarda) qatlamlarga ajralish va yoriqlar.

➤ Korroziyaviy shikastlanishlar — tunnel sharoitida ekspluatatsiya qilinadigan, himoya qoplamasi bo'lmagan yuzalar uchun xosdir.

Nosozliklarning turlar bo'yicha taqsimoti 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

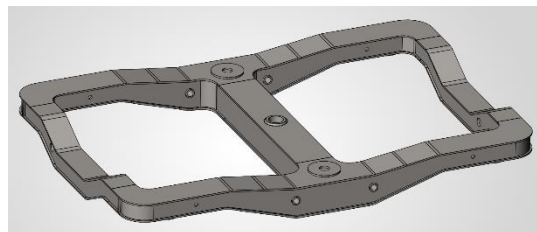
Metropoliten aravacha ramasi nosozliklari

Nosozlik turi	%	Sababi	Oqibati
Yetaklovchi kronshteynlarni	35,2	Metall charchoqligi,	Tortish kinematikasi

ing shikastlanishi		zarbiy yuklamalar	-ning buzilishi
Oasma tizimi qoplamalarining yeyilishi	29,5	Ishqalanish, moylashning yetarli emasligi	Dinamikaning yomonlashishi
Bo'ylama balkalardagi yoriqlar	18,7	Kuchlanish konsentrat-siyasi	Ko'taruvchanlik qobiliyatini yo'qotish xavfi
Payvand chokklarining shikastlanishi	11,3	Charchoqlik, tebranish yuklamalari	Rama tugunlarining qatlamlarga ajralishi
Boshqa nuqsonlar	5,3	Turli omillar	Ishonchlilikning pasayishi

Aravacha ramasi chekli elementlar usuli asosida mustahkamlik tahlili

Metropoliten vagonlari telejka ramasi konstruktiv yaxlitligini baholash maqsadida zamonaviy muhandislik dasturiy ta'minoti yordamida chekli elementlar usuli (ChEU) tatbiq etildi. Tahlil jarayoni geometrik modellash, diskretizatsiya va statik kuchlanishlar holatini o'rganish bosqichlarini qamrab oldi. Quyidagi 1-rasmda aravacha ramasi 3D modeli keltirib o'tilgan.



1-rasm. Aravacha ramasi 3D modeli

Tadqiqotning dastlabki bosqichida aravacha ramasi yuqori aniqlikdagi chekli elementlar to'ri 2-rasmda keltirib o'tilgan [19]. Model hisob-kitobni aniqligini ta'minlash maqsadida "aralash egri chiziqli" usulda diskretizatsiya qilindi.



2-rasm. Telejka ramasi konstruksiyasining chekli elementlar to'ri

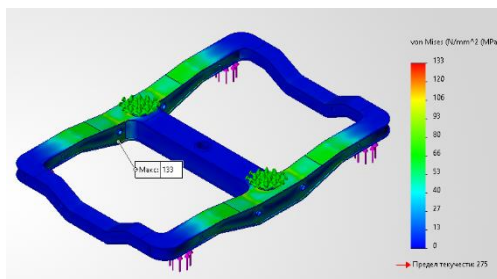
Tahlil jarayonining texnik parametrlariga ko'ra, 202 409 tugun va 97 223 elementdan iborat ushbu modelda elementlarning 92,7 foizi sifat ko'rsatkichi bo'yicha 3 dan kichik bo'lgan tomonlar nisbatiga ega ekanligi aniqlandi. Mustahkamlik hisobi tahlili uchun asosiy texnik parametrlar 3-rasmda keltirib o'tilgan.



Имя исследования	Metro_Aravacha* (По умолчанию)
Детализация/Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Сетка на основе смешанной кривизны
Точки Якобиана для сетки высокого качества	16 точек
Макс. размер элемента	30 mm
Мин. размер элемента	1,5 mm
Качество сетки	Всего узлов
Всего узлов	202409
Всего элементов	97223
Максимальное соотношение сторон	10,748
Процент элементов с соотношением сторон < 3	92,7
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0,00206
Процент искаженных элементов	0
Число искаженных элементов	0
Заново создать независимую сетку из неудавшихся деталей	Выкл
Повторно использовать сетку для одинаковых тел	Выкл
Количество тел, для которых была повторно использована сетка	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:27

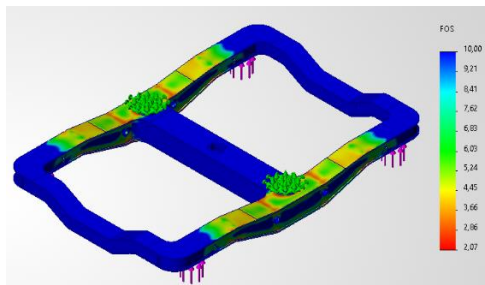
3-рasm. Sonli tahlil uchun kiritilgan asosiy texnik parametrlar

Ekspluatatsion yuklamalar ta'sirida Von Mises kuchlanishlarining taqsimlanishi tahlili 4-rasmda keltirib o'tilgan. Natijalar maksimal kuchlanish qiymati 133 MPa ekanligini ko'rsatdi, bu qiymatlar asosan kronshteynlar va payvand choklariga to'g'ri keladi.



4-rasm. Ekspluatatsion yuklamalar ostidagi kuchlanganlik-deformatsiya holati epyurasi

Xavfsizlik koeffitsienti tahlili natijalari konstruksiyaning eng yuqori kuchlanish zonalari, xususan, kronshteynlar va payvand choklarida ham mustahkamlik zahirasi 2,07 ekanligi aniqlani [20]. Ushbu ko'rsatkich materialning oquvchanlik chegarasi va amaldagi kuchlanishlar o'rtasidagi farq statik yuklanishlar uchun yetarli mustahkamlik zaxirasini ta'minlashini ko'rsatadi. 5-rasmda keltirilgan diskretizatsiya parametrlarining yuqori sifat darajasi (92,7% elementlar 3 dan kichik tomonlar nisbatiga egaligi) olingan natijalarning ishonchligini kafolatlaydi. Shunday bo'lsa-da, ekspluatatsiya jarayonidagi siklik dinamik tebranishlar va tunnel sharoitidagi korroziya omillari ushbu zaxirani vaqt o'tishi bilan kamaytirishi mumkin. Binobarin, mazkur zaxira koeffitsienti statik xavfsizlikni ta'minlashda, charchoqlik nazariyasi asosida dinamik ishonchlikni muntazam nazorat qilish zarur.



5-rasm. Aravacha ramasing mustahkamlik zahirasi koeffitsienti epyurasi

Ushbu ChEU tahlili shuni isbotlaydiki, rejadani tashqari ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish uchun mustahkamlik zahira koeffitsienti qiymati pastroq bo'lgan qizil va sariq rangli hududlar (kronshteynlar va payvand choklari)

muntazam ravishda putur yetkazmasdan tekshiruv obyekti bo'lishi shart. Ushbu vizual va raqamli natijalar keyingi bo'limda taklif etilayotgan matematik optimallashtirish modeli uchun asosiy ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi[21].

3. Natija va muhokamalar

Resursni baholash va optimallashtirishning matematik modeli

Telejka ramasing qoldiq resursini miqdoriy baholash uchun Palmgren-Maynerning charchoqlik shikastlanishlarini jamlashning chiziqli qonuniga asoslangan modeldan foydalanish taklif etiladi. Texnik xizmat ko'rsatish (TXK) uchun resurslarni taqsimlashni optimallashtirish masalasi ekspluatatsiya xarajatlarini minimallashtirish va ishonchlik hamda harakat xavfsizligi cheklovlariga rioya qilish vazifasi sifatida shakllantiriladi.

Ekspluatatsiya xarajatlarini minimallashtirishning maqsadli funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Z = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \rightarrow \min$$

Cheklovlar tizimiga rioya qilgan holda:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x_i \geq R_j, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Bu yerda:

➤ Z — ramaning soz holatini saqlash uchun ketadigan umumiy ekspluatatsiya xarajatlari;

➤ c_i — i -elementga (kronshteynlar, qoplamlar, payvand choklari) xizmat ko'rsatishning solishtirma qiymati;

➤ x_i — i -elementga ajratiladigan resurs hajmi (moliyaviy yoki vaqt ko'rinishida);

➤ a_{ij} — i -elementning ishonchlik bo'yicha j -cheklovga ta'sir koeffitsienti;

➤ R_j — ishonchlik (xavfsizlik) bo'yicha j -mezonnning minimal ruxsat etilgan qiymati.

Modelning amaliy tatbiqida uchta kritik tugunni ko'rib chiqamiz: x_1 — yetaklovchi (povodkovaya) kronshteynlar, x_2 — markaziy osma tizimining qoplamlari, x_3 — bo'ylama balkalarning payvand choklari. c_1 , c_2 , c_3 solishtirma xarajatlarning vazn koeffitsientlari berilganda, cheklovlar tizimi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \geq R_{min_yuk} \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \geq R_{xizmat_davri} \end{cases}$$

Bu yerda:

➤ R_{min_yuk} — konstruksiyaning statik va dinamik yuklamalarni qabul qilish bo'yicha minimal talab qilinadigan chidamlilik chegarasi;

➤ R_{xizmat_davri} — ramaning belgilangan xizmat muddati davomida ishlash qobiliyatini ta'minlovchi resurs ko'rsatkichi.

Ushbu masalani simpleks-usul yordamida yechish telejkaning har bir tuguniga xizmat ko'rsatish uchun xarajatlarni taqsimlashning optimal strategiyasini aniqlash

imkonini beradi. Ushbu matematik modelni qo'llash "foydalanilgan resurs bo'yicha xizmat ko'rsatish strategiyasidan" "texnik holati bo'yicha xizmat ko'rsatish" strategiyasiga o'tishni ta'minlaydi, bu esa rejadani tashqari ta'mirlash hajmini kamaytirish va ta'mirlash depoziti moddiy resurslarini oqilona ishlatishga imkon beradi.

4. Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar va metropoliten harakatlanuvchi tarkiblar aravacha ramalarining ekspluatatsiya jarayonini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, amaldagi texnik xizmat ko'rsatish tizimi zamonaviy talablarga to'liq javob bermaydi. Konstruksiyalarning faktik resursi belgilangan me'yoriy ko'rsatkichning yarmidan ham kamroqni tashkil etishi tizimli yondashuvni tubdan qayta ko'rib chiqish zaruratini belgilaydi.

Tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydiki, aravacha ramalaridagi nosozliklarning asosiy qismi, xususan, yetaklovchi kronshteynlar va markaziy osma tizimi qoplamalarining shikastlanishi, konstruksiyaning yuqori dinamik va tebranish yuklamalari ostida ishlashi bilan bevosita bog'liq. Chekli elementlar usuli (ChEU) yordamida o'tkazilgan sonli tahlillar maksimal kuchlanish konsentratsiyalari aynan kronshteynlar va payvand choklari tutashgan kritik zonalarga to'g'ri kelishini ilmiy jihatdan asosladi.

Taklif etilgan optimallashtirish modeli asosida "foydalanilgan resurs bo'yicha xizmat ko'rsatish" dan "texnik holati bo'yicha xizmat ko'rsatish" strategiyasiga o'tish rejadani tashqari ta'mirlash xarajatlarini sezilarli darajada qisqartirishning yagona samarali yo'lidir. Bunda simpleks-usul yordamida moddiy resurslarni eng zaif va muhim tugunlarga yo'naltirish ramalarining konstruktiv ishonchlilikini oshiradi. Shuningdek, metall konstruksiyalarda charchoqlik yoriqlarini barvaqt aniqlash uchun muntazam ravishda putur yetkazmasdan tekshirish usullarini joriy etish hamda tunnel sharoitidagi korroziyaga qarshi kurashish choralarini kuchaytirish harakat xavfsizligini ta'minlashning asosiy kafolatidir.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan matematik model va sonli tahlil natijalari "Toshkent metropoliteni" AJ harakat tarkibining texnik ishonchlilikini oshirish, ekspluatatsiya xarajatlarini optimallashtirish va vagonlar aravacha ramalarining xizmat muddatini samarali uzaytirish uchun muhim ilmiy-texnik baza bo'lib xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Abdurasulov S. et al. Structural strength evaluation of the main frame in the PE2U industrial traction unit control electric locomotive //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070005.
- [2] Yusufov A., Taiwen Y. Service life extension through retrofit of the TEM2 shunting locomotive bogie frame //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070008.
- [3] Yusufov A. et al. Modernization strategies for the main frame structure of TEM2 shunting locomotives to prolong service life //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070007.

[4] Raxmiddinov I. et al. Experimental and finite element analysis of the structural durability of special self-propelled rolling stock frames //Vibroengineering Procedia. – 2025. – T. 60. – C. 186-192.

[5] Ivanov, D. Big Data Analytics and Fatigue Life Assessment in Railway Freight Transportation. Procedia Computer Science, – 2019. Vol. 159, pp. 1086-1095.

[6] Anderson, D. Optimization Techniques in Logistics and Transportation Maintenance". Operations Research Journal, – 2019. Vol. 16, Issue 2, pp. 100-115.

[7] Wang, L., & Zhang, X. Optimizing Data Flow and Maintenance Strategies in Supply Chain Management Using AI Techniques. International Journal of Supply Chain Management, – 2021. Vol. 6, Issue 3, pp. 23-35.

[8] Abdurasulov S. et al. Evaluation of mean stress under load cycle of PE2M (U) industrial traction unit motorized dumpcar underframe using finite element method //Vibroengineering Procedia. – 2025. – T. 60. – C. 731-737.

[9] Kosimov K., et al. Experimental evaluation of residual deflection and structural stiffness of the UzTE16M locomotive frame under static loading conditions //Vibroengineering Procedia. – 2025. – T. 60. – C. 579-585.

[10] Kudratov S. et al. Diesel locomotives-Fault analysis and problem solving //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060013.

[11] Abdurasulov S. et al. Stress-strain state analysis of cross beam of main frame of industrial electric locomotives PE2M and PE2U //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060011.

[12] Jamilov S. et al. Mathematical modelling of heat exchange process of locomotive traction electric motors //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060012.

[13] Yusufov A. Reliability analysis of asynchronous traction electric motors of O'Z-EL series locomotives and ways to improve their operational reliability //Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2025. – T. 15. – №. 1. – C. 65-69.

[14] Jamilov S. et al. Research of Factors Affecting the Heating and Cooling of Locomotive Traction Electric Machines //ICTEA: International Conference on Thermal Engineering. – 2024. – T. 1. – №. 1.

[15] Yusufov A. Analysis of the state and prospects for the development of the locomotive fleet JSC "O'zbekiston temir yo'llari" //Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2023. – T. 13. – №. 1. – C. 16-21.

[16] Abdurasulov S., Zayniddinov N., Yusufov A. Requirements for the strength of load-bearing structures of locomotives //Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2023. – T. 30. – C. 44-48.

[17] Khamidov O. R. et al. Investigation of the stress-strain state of the bogie frame of shunting locomotives using the finite element method //Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы. – 2023. – C. 504-509.

[18] Abdurasulov S. X. et al. O'zbekiston respublikasi tog'-kon sanoatida foydalanilayotgan tortish agregatlari parkinging tahlili //Academic research in educational sciences. – 2023. – T. 4. – №. 8. – C. 146-157.

[19] Кодиров Н. С. и др. Разработка метода для определения динамической нагруженности узлов подвижного состава с применением неразрушающего контроля //Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в. – 2022. – C. 98.

[20] Хамидов О. Р. и др. Оценка средних напряжений цикла в несущих рамах тепловозов на



основе, конечно-элементного, расчета от статических нагрузок //Academic research in modern science. – 2022. – Т. 1. – №. 9. – С. 118-124.

[21] Абдурасулов Ш. Х. и др. Вестник транспорта поволжья //вестник транспорта поволжья Учредители: Приволжский государственный университет путей сообщения. – №. 1. – С. 7-11.

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

Yusufov	Toshkent davlat transport
Abdulaziz /	universiteti “Lokomotivlar va
Abdulaziz	lokomotiv xo'jaligi” kafedra
Yusufov	dotsenti, t.f.f.d., (PhD),
	E-mail: abdulazizyusufov@bk.ru
	Tel.: +99894 308 88 08
	https://orcid.org/0000-0002-1651-5493
Abdurasulov	Toshkent davlat transport
Sherzamin /	universiteti “Lokomotivlar va

Sherzamin
Abdurasulov
lokomotiv xo'jaligi” kafedra katta
o'qituvchisi, t.f.f.d., (PhD),
E-mail: sherzamin.tstu@gmail.com
Tel.: + 99890 021 04 93
<https://orcid.org/0000-0001-5581-507X>

Vohidov	Toshkent davlat transport
Azizbek /	universiteti “Lokomotivlar va
Azizbek	lokomotiv xo'jaligi” kafedra
Vohidov	tayanch doktoranti
	Tel.: +99891 233 00 55
Ulugov	Toshkent davlat transport
Javoxir /	universiteti “Lokomotivlar va
Javokhir	lokomotiv xo'jaligi” kafedra
Ulugov	magistranti
	Tel.: +99890 947 18 08
Makhmudjanov	Toshkent davlat transport
Abbos /	universiteti “Lokomotivlar va
Abbos	lokomotiv xo'jaligi” kafedra
Makhmudjanov	magistranti
	Tel.: +99890 628 11 31



Assessment of the residual life of shunting locomotive frame structures based on complex diagnostics and finite element method

A.M. Yusufov¹^a, Sh.Kh. Abdurasulov¹^b, A.P. Vohidov¹, J. Ulugov¹, A. Mahmudjanov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article scientifically evaluates the current technical condition and residual service life of the main frame of a TGM-23B shunting locomotive subjected to long-term operation. Using an industrial shunting locomotive as the research object, complex diagnostic procedures were carried out on its load-bearing frame structures using the ultrasonic thickness measurement method. Based on the actual dimensions and thickness indicators obtained, a digital 3D finite element model (FEM) of the frame was developed in the SOLIDWORKS Simulation software suite. The stress-strain state (SSS) and fatigue resistance characteristics of the structure were analyzed under the influence of the most unfavorable standard operational loads. Numerical calculation results proved that the static load-bearing capacity and the factor of safety of the frame remain at the required level.

Keywords: TGM-23B locomotive, shunting locomotive, frame structure, residual life, complex diagnostics, ultrasonic thickness measurement, finite element method (FEM), factor of safety, stress-strain state (SSS), service life extension

Manyovr teplovozi rama konstruksiyalarining qoldiq resursini kompleks diagnostika va chekli elementlar usuli asosida baholash

Yusufov A.M.¹^a, Abdurasulov Sh.X.¹^b, Vohidov A.P.¹, Ulugov J.¹, Mahmudjanov A.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, Uzbekistan

Annotatsiya: Mazkur maqolada uzoq muddat ekspluatatsiya qilingan TGM-23B turidagi manyovr teplovozi asosiy ramasi joriy texnik holati va qoldiq resursi ilmiy jihatdan baholangan. Tadqiqot obyekti sifatida sanoat korxonasida foydalanilayotgan teplovoz olingan bo'lib, uning yuk ko'taruvchi rama konstruksiyalarida ultratovushli tolshinometriya usuli yordamida kompleks diagnostika ishlari amalga oshirilgan. Olingan faktik o'lchamlar va qalinlik ko'rsatkichlari asosida SOLIDWORKS Simulation dasturiy majmuasida ramaning raqamli 3D chekli elementlar modeli (ChEM) shakllantirilgan. Konstruksiyaning kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) va toliqishga chidamlilik xususiyatlari amaldagi eng noqulay me'yoriy yuklamalar ta'sirida tahlil qilingan. Raqamli hisoblash natijalari ramaning statik ko'taruvchanlik qobiliyati va mustahkamlik zaxira koeffitsienti talab darajasida saqlanib qolganligini isbotladi.

Kalit so'zlar: TGM-23B teplovozi, manyovr lokomotivi, rama konstruksiyasi, qoldiq resurs, kompleks diagnostika, ultratovushli tolshinometriya, chekli elementlar usuli (ChEU), mustahkamlik zaxirasi, kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH), xizmat muddatini uzaytirish

1. Kirish

Bugungi kunda O'zbekiston Respublikasi temir yo'l transportida ekspluatatsiya qilinayotgan lokomotiv parkidagi TGM-23B turidagi manyovr teplovozlari muhim o'rin egallaydi. Mazkur turdagi teplovozlar sanoat korxonalari hududlarida yuk tashish jarayonlarini tashkil etish, vagonlarni saralash, tarkiblarni shakllantirish va boshqa manyovr ishlarini bajarishda keng qo'llaniladi. Shu bilan birga, mavjud lokomotivlarning aksariyat qismi uzoq yillar davomida ekspluatatsiya qilinishi natijasida ularning belgilangan xizmat muddati yakuniga yetib bormoqda yoki allaqachon tugagan [1].

Shu munosabat bilan, mazkur turdagi teplovozlarning qoldiq resursini aniqlash, texnik holatini baholash hamda xizmat muddatini ilmiy asoslangan holda uzaytirish masalasi

dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Lokomotivlarning xavfsiz ekspluatatsiyasi huquqiy-me'yoriy talablar, texnik diagnostika usullari hamda konstruktiv elementlarning mustahkamlik darajasini baholashga asoslangan kompleks yondashuvni talab qiladi [3].

TGM-23B turidagi manyovr teplovozlarining joriy texnik holatini baholash, ularning asosiy yuk ko'taruvchi elementlari, xususan rama konstruksiyalarining mustahkamligi, ishonchliligi va qoldiq resursini aniqlash transport vositasining yangidan belgilangan ekspluatatsiya muddatida xavfsiz ishlashini ilmiy jihatdan asoslash imkonini beradi. Teplovozlarning uzoq muddatli ekspluatatsiyasi jarayonida metall konstruksiyalarda charchash jarayonlari, qoldiq deformatsiyalar, payvand choklarida mikro yoriqlar paydo bo'lishi kabi omillar kuzatilishi mumkin. Bu esa, o'z navbatida, lokomotivning

^a <https://orcid.org/0000-0001-8310-8225>

^b <https://orcid.org/0000-0001-5581-507X>



umumiy texnik holatiga hamda uning xavfsiz ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Teplovozlarning xavfsiz ishlashi ko'p jihatdan uning asosiy uzal va agregatlarining qoldiq resursi bilan belgilanadi. Ushbu muammoni hal qilish uchun texnik diagnostika ishlarini muntazam amalga oshirish, aniqlangan nosozliklarni o'z vaqtida bartaraf etish, zarur hollarda uzal va agregatlarni ta'mirlash yoki almashtirish talab etiladi [3]. Shu sababli, metall konstruksiyalar hamda asosiy uzal-agregatlar xizmat muddati davomida o'z funksional vazifalarini jiddiy shikastlanishsiz bajarishi zarur.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Manyovr teplovozining diagnostika tekshiruvi va texnik holatini baholash metodologiyasi

TGM-23B manyovr teplovozlarning ekspluatatsion ishonchligini baholashda ularning joriy texnik holatini aniqlash hal qiluvchi bosqich hisoblanadi. Diagnostika ishlari Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrasida qoshidagi "Temir yo'llarning harakatlanuvchi tarkibi" ilmiy markazi mutaxassislar tomonidan xalqaro standartlar va O'zbekiston Respublikasi "Texnik jihatdan tartibga solish" agentligi tomonidan sertifikatlangan o'lchov vositalari yordamida amalga oshiriladi. Quyidagi 1-rasmda TGM-23B turidagi Sanoat manyovr teplovozining umumiy ko'rinishi keltirib o'tilgan.

Teplovozning tashqi va ichki ko'rigidan o'tkazishdan maqsad loyiha hujjatlariga nomuvofiqliklarni, ekspluatatsiya jarayonidagi shikastlanishlarni, yoriqlarni, korroziyalni hududlarni hamda jihozlarning to'liqligini aniqlashdan iborat [4-5]. Tekshiruv jarayonida quyidagi tizimlar qamrab olinadi:

- Rama konstruksiyasi va ekipaj qismi;
- Kuzov va mashinist kabinasi;
- Zarba-tortuv va avtotirkama uskunalari;
- Tormoz va elektr jihozlari hamda yordamchi uskunalalar.



1-rasm. TGM-23B turidagi teplovozning umumiy ko'rinishi

Aniqlangan har bir nosozlik teplovozning texnik holatini tekshirish kartasida qayd etiladi. Nuqsonlarning tasnifi va o'lchamini aniqlashda 4-20 marta kattalashtiruvchi optik asboblardan hamda zamonaviy putur yetkazmaydigan nazorat usullari qo'llaniladi:

- Vizual va o'lchov nazorati: Qismlarning eskirish darajasi o'lchov xaritalari talablari asosida $\pm 0,3$ mm gacha bo'lgan aniqlikda o'lchanadi.
- Putur yetkazmaydigan nazorat: Payvandlangan bo'g'inlar va asosiy metallarda yoriqlar, g'ovaklik yoki shlak

qo'shimchalarini aniqlash uchun ultratovushli, magnit yoki rangli nuqsonlarni aniqlash usullari tanlab olinadi.

➤ Laboratoriya tahlillari: Metallning mexanik xususiyatlari, metallografik tahlili va kimyoviy tarkibi o'rganiladi. Bu tadqiqotlar asosiy va payvandlash materiallarining yaroqliligini aniqlashda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Tekshiruvlar natijasida har bir qismning keyingi ekspluatatsiyaga yaroqliligi yoki uni tiklash imkoniyatlari belgilanadi. Aniqlangan barcha nosozliklar va laboratoriya tadqiqotlari natijalari mutaxassislar tomonidan imzolangan xulosa shaklida rasmiylashtiriladi [6]. Ushbu ma'lumotlar teplovozning qoldiq resursini hisoblash va uni uzaytirish masalalarini ilmiy asoslash uchun asosiy kirish ma'lumoti hisoblanadi.

Rama konstruksiyalarining korroziya omilini hisobga olgan holda ultratovushli tolshinometriya sxemasini ishlab chiqish

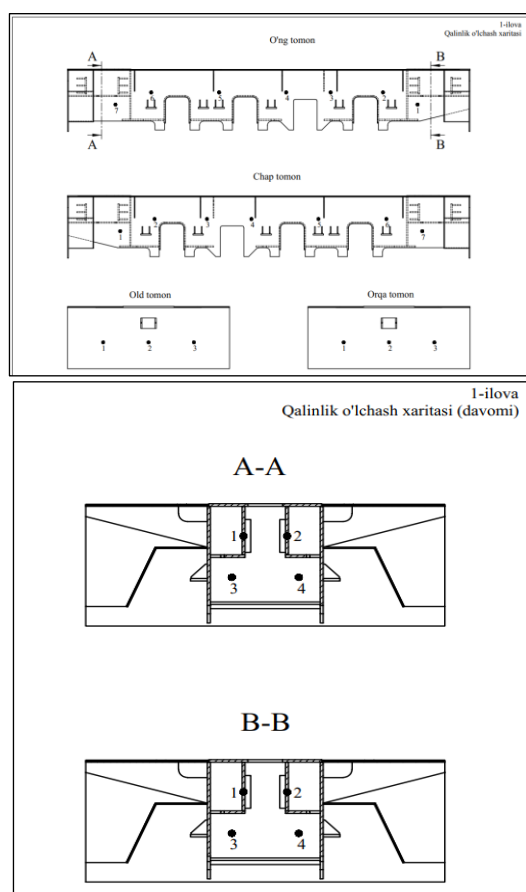
Teplovozlarning xizmat muddatini uzaytirishda rama konstruksiyalarining texnik holatini baholash hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tadqiqot jarayonida teng taqsimlangan korroziya omilini hisobga olgan holda, rama elementlarining qoldiq qalinligini aniqlash uchun ultratovushli tolshinometriya usuli ishlab chiqildi [7-9].

Teplovozlarning rama konstruksiyalarining joriy texnik holatini aniqlash quyidagi ishlarni o'z ichiga oladi. Qoldiq xizmat muddatini uzaytirishga bevosita ta'sir ko'rsatadigan omillardan biri uning rama konstruksiyalarining texnik holatini tekshirishdir. Texnik holatni tekshirish jarayonida xizmat muddati tugagan TGM-23B turidagi manyovr teplovozlarning rama konstruksiyalarining qalinligini o'lchash (tolshinometrik tahlil) sxemasi ishlab chiqildi [10].

Asosiy rama kesimlarga ajratildi va asosiy ramani qalinligini o'lchash sxemasi 1- rasmda keltirib o'tilgan.

Sanoat korxonalari infratuzilmasida uzluksiz manyovr operatsiyalarini bajaruvchi lokomotivlar resursini tasdiqlash murakkab muhandislik yechimlarini talab etadi. Shu sababli, respublika temir yo'llari tarmog'iga tutash "Kvars" AJ hududida og'ir sharoitlarda ekspluatatsiya qilinayotgan №355 inventar raqamli TGM-23B teplovozini kapital ta'mirlash jarayonida qoldiq xizmat muddatini uzaytirish maqsadida uning asosiy yuk ko'taruvchi ramasi to'liq diagnostikadan o'tkazildi [11].

Texnik holatni shunchaki vizual baholashdan voz kechilib, aniq sonli ko'rsatkichlarga tayanish uchun rama fazoviy konstruksiya sifatida tarqalgan dinamik yuklamalar (tortish, tormozlanish va manyovr zarbalari) ta'siriga qarab qat'iy kesimlarga differensiallashtirildi. Har bir kritik zona bo'yicha metall yemirilishi va korroziya qatlamini qayd etishga qaratilgan maxsus koordinatali tolshinometriya xaritasi ishlab chiqildi.



1-rasm. TGM-23B turidagi manyovr teplovzorlarining rama konstruksiyalarining qalinligini o'lchash xaritasi

Ekspluatatsion eskirish oqibatida asosiy metallda yuzaga keladigan yashirin degradatsiya jarayonlarini aniqlashda zamonaviy ultratovushli qalinlik o'lchash usuli qo'llanildi. Ushbu amaliyot konstruksiya yaxlitligini buzmaganda, bo'ylama va ko'ndalang balkalarning faktik qalinlik parametrlarini bevosita o'lchash imkonini berdi. Asosiy rama kesimlari bo'yicha o'tkazilgan mazkur o'lchov jarayonining yakuniy natijalari tizimlashtirilib, keyingi mustahkamlik hisoblari uchun tayanch ma'lumot sifatida mos ravishda 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

TGM-23B turidagi №355 teplovozining asosiy ramasining qalinligini o'lchash natijalari, mm

Chap tomon						
1	2	3	4	5	6	7
25,21	25,13	25,11	25,02	25,09	25,02	25,12
Old tomon			Orqa tomon			
1	2	3	4	5	6	
19,85	20,16	19,78	19,85	19,71	20,00	
A-A			B-B			
1	2	3	4	1	2	3
15,2	15,43	15,16	15,03	15,21	15,13	15,22

1-jadvalda keltirilgan qalinlik o'lchash (tolshinometriya) natijalari TGM-23B turidagi №355 raqamli manyovr teplovozi rama konstruksiyasining joriy texnik va fizik holatini kompleks baholash uchun asosiy

empirik baza bo'lib xizmat qildi. Olingan aniq o'lchamlar va faktik qalinlik ko'rsatkichlari asosida zamonaviy SOLIDWORKS dasturiy majmuasida ramaning yuqori aniqlikdagi 3D chekli elementlar modeli (ChEM) ishlab chiqildi [12]. Bunda raqamli modelga kiritilgan geometrik parametrlar shunchaki ideal holatdagi chizmalarni emas, balki bevosita ekspluatatsiya jarayonidagi haqiqiy qoldiq qalinliklarni o'zida aks ettiradi. Bu yondashuv navbatdagi mustahkamlik va kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) hisob-kitoblarning ilmiy ishonchiligi keskin oshiradi.

Eksperimental o'lchovlar natijalarining qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, ramani tashkil etuvchi asosiy po'lat listlarning faktik qalinligi dastlabki me'yoriy konstruktorklik hujjatlariga va ishlab chiqaruvchi zavod chizmalariga to'liq muvofiq keladi. Uzoq muddatli ekspluatatsiya sharoitlariga va muntazam dinamik yuklamalarga qaramay, yuk ko'taruvchi bo'ylama va ko'ndalang balkalarda, shuningdek, kritik o'tish zonalarida metallning sezilarli darajada yemirilishi, xatarli korroziya o'choqlari yoki qatlamlarga ajralish nuqsonlari aniqlanmadi.

Ushbu holat metall konstruksiyaning o'z ko'taruvchanlik qobiliyatini hamda belgilangan mustahkamlik zaxirasini to'la saqlab qolganligini isbotlaydi. Olingan mazkur xulosalar teplovozning qoldiq resursini aniq baholash, xizmat muddatini uzaytirishni ilmiy asoslash hamda keyingi ekspluatatsiya jarayonida harakat xavfsizligini ta'minlash bo'yicha yakuniy muhandislik qarorlarini qabul qilish uchun ishonchli zamin yaratadi].

3. Natija va muhokamalar

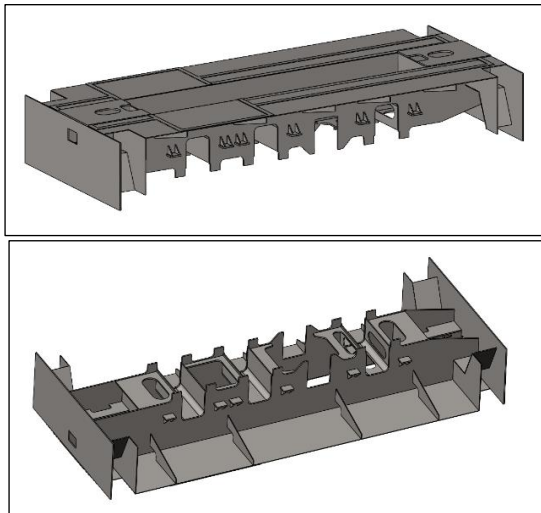
O'lchov ma'lumotlari asosida rama konstruksiyasining chekli elementlar usuli orqali mustahkamlik tahlili

Tolshinometriya tahlili orqali tasdiqlangan faktik o'lchamlar asosida TGM-23B manyovr teplovozi asosiy ramasining raqamli modeli SOLIDWORKS Simulation dasturiy majmuasida shakllantirildi. Metall konstruksiyaning ishonchiligi ikkita fundamental mezon: statik yuk ko'tarish qobiliyati (oquvchanlik chegarasiga nisbatan) va davriy yuklanish sharoitidagi toliqishga chidamlilik zaxirasi bo'yicha baholandi [13].

Rama konstruksiyasiga ta'sir etuvchi kuchlanishlar ekspluatatsiya jarayonidagi eng noqulay yuklanish kombinatsiyalari – og'irlik kuchi, avtotirkama apparati orqali uzatiladigan tortish-tormozlash zarbalari hamda yo'lining egri uchastkalarida yuzaga keladigan kvazistatik kuchlar asosida jamlandi. Amaldagi me'yoriy talablarga muvofiq, ruxsat etilgan kuchlanishlar ish rejimining og'irlik darajasiga qarab material shartli oquvchanlik chegarasining $0.6\sigma_{0.2}$ dan $0.9\sigma_{0.2}$ gacha bo'lgan diapazonida qat'iy chegaralandi.

Toliqishga qarshi zaxira koeffitsiyentini aniqlashda standart po'lat namunaning chidamlilik chegarasi, sikl asimmetriyasi ta'sirini tavsiflovchi koeffitsiyenti, nazariy kuchlanish konsentratsiyasi va detal ko'ndalang kesimining o'lcham omilini hisobga oluvchi murakkab empirik funksiyalardan foydalanildi. Analitik baholashlar bilan bir qatorda, 3-rasmida ko'rsatilgan 3D modeli ishlab chiqildi.

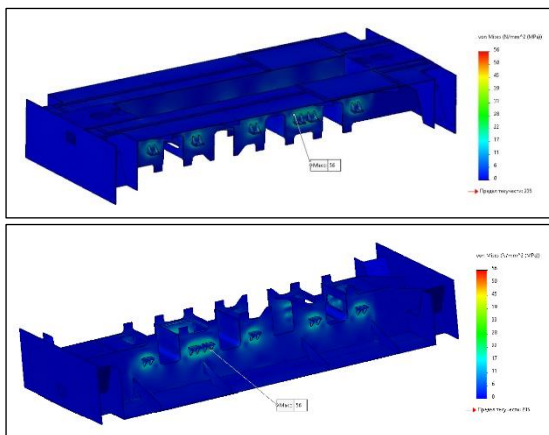




3-rasm. TGM-23B turidagi teplovoz ramasining 3D modeli

Chekli elementlar modeliga o'rnatilgan chegaraviy shartlar va yuklamalar ta'sirida konstruksiyaning kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) generatsiya qilindi.

Olingan ekvivalent kuchlanishlarining taqsimlanish epyurasi (4-rasm) asosiy mexanik kuchlanishlar bo'ylama balkalar hamda ressa osmalari o'rnatiladigan o'tish uzellarida konsentratsiyalanishini ko'rsatdi. Tahlil qilinayotgan kritik zonalaridagi maksimal kuchlanish amplitudasi ruxsat etilgan material oquvchanlik chegarasidan past darajada barqarorlashgan.



4-rasm. TGM-23B turidagi teplovozning kuchlanganlik-deformatsiya holati

Yuqoridagi 4-rasmida keltirilgan TGM-23B teplovozi asosiy ramasining kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) epyurasi ekspluatatsion yuklamalarning murakkab ta'sirini vizual namoyon etadi [14]. Chekli elementlar usuli orqali olingan ushbu tahlil shuni ko'rsatadiki, maksimal mexanik kuchlanishlar asosan bo'ylama balkalar va ressa osmalari o'rnatiladigan kritik o'tish uzellarida jamlangan. Shunga qaramay, qayd etilgan eng yuqori kuchlanish amplitudasi konstruksiyada qo'llanilgan po'lat materialining ruxsat etilgan oquvchanlik chegarasidan sezilarli darajada past ekanligi aniqlandi. Mazkur holat ramaning statik yuk ko'tarish qobiliyati to'liq saqlanganligini hamda metallning toliqishga chidamlilik zaxirasi yetarli ekanligini ilmiy jihatdan isbotlaydi. Olingan raqamli natijalar xatarli plastik

deformatsiyalar xavfi yo'qligini tasdiqlab, xizmat muddatini xavfsiz uzaytirish uchun asosiy muhandislik kafolati bo'lib xizmat qiladi.

4. Xulosa

O'tkazilgan kompleks diagnostika va raqamli modellashirish tadqiqotlari natijasida sanoat korxonalarida ekspluatatsiya qilinayotgan TGM-23B turidagi manyovr teplovozi asosiy ramasining joriy texnik holati va qoldiq resursi ilmiy jihatdan baholandi. Olingan natijalar asosida quyidagi yakuniy muhandislik xulosalari shakllantirildi:

Birinchidan, "Kvars" AJ hududida ishlovchi №355 raqamli teplovoz misolida o'tkazilgan ultratovushli tolshinometriya tahlillari shuni tasdiqladiki, uzoq muddatli ekspluatatsiya va murakkab dinamik yuklamalarga qaramay, rama metall listlarining faktik qalinligi zavod konstruktorlik hujjatlari me'yorlariga to'liq mos keladi. Konstruksiyada ko'taruvchanlik qobiliyatiga putur yetkazuvchi xatarli korroziya o'choqlari va qatlamlarga ajralish nuqsonlari aniqlanmadi.

Ikkinchidan, o'lchov natijalari asosida SOLIDWORKS Simulation dasturiy majmuasida shakllantirilgan 3D chekli elementlar modeli (ChEM) yordamida o'tkazilgan kuchlanganlik-deformatsiya holati (KDH) tahlili eng noqulay yuklanish kombinatsiyalarida ham maksimal mexanik kuchlanishlar ruxsat etilgan oquvchanlik chegarasidan barqaror ravishda past ekanligini ko'rsatdi. Asosiy mexanik kuchlanishlar bo'ylama balkalar va ressa osmalari kabi kritik uzellarda to'plansa-da, ularning amplitudasi plastik deformatsiyalarni keltirib chiqarmaydi.

Uchinchidan, hisoblab chiqilgan mustahkamlik zaxira ko'effitsiyenti va toliqishga chidamlilik ko'rsatkichlari rama konstruksiyasining amaldagi davlat standartlari va xalqaro me'yorlarga to'liq javob berishini isbotladi. Metallning charchoqlik zaxirasi navbatdagi ekspluatatsiya davri uchun yetarli darajada saqlanib qolgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Abdurasulov S. et al. Structural strength evaluation of the main frame in the PE2U industrial traction unit control electric locomotive //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070005.
- [2] Yusufov A., Taiwen Y. Service life extension through retrofit of the TEM2 shunting locomotive bogie frame //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070008.
- [3] Yusufov A. et al. Modernization strategies for the main frame structure of TEM2 shunting locomotives to prolong service life //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – T. 3447. – №. 1. – C. 070007.
- [4] Raxmiddinov I. et al. Experimental and finite element analysis of the structural durability of special self-propelled rolling stock frames //Vibroengineering Procedia. – 2025. – T. 60. – C. 186-192.
- [5] Ivanov, D. Big Data Analytics and Fatigue Life Assessment in Railway Freight Transportation. Procedia Computer Science, – 2019. Vol. 159, pp. 1086-1095.
- [6] Anderson, D. Optimization Techniques in Logistics and Transportation Maintenance". Operations Research Journal, – 2019. Vol. 16, Issue 2, pp. 100-115.

[7] Wang, L., & Zhang, X. Optimizing Data Flow and Maintenance Strategies in Supply Chain Management Using AI Techniques. *International Journal of Supply Chain Management*, – 2021. Vol. 6, Issue 3, pp. 23-35.

[8] Abdurasulov S. et al. Evaluation of mean stress under load cycle of PE2M (U) industrial traction unit motorized dumpcar underframe using finite element method // *Vibroengineering Procedia*. – 2025. – T. 60. – C. 731-737.

[9] Kosimov K., et al. Experimental evaluation of residual deflection and structural stiffness of the UzTE16M locomotive frame under static loading conditions // *Vibroengineering Procedia*. – 2025. – T. 60. – C. 579-585.

[10] Kudratov S. et al. Diesel locomotives-Fault analysis and problem solving // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060013.

[11] Abdurasulov S. et al. Stress-strain state analysis of cross beam of main frame of industrial electric locomotives PE2M and PE2U // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060011.

[12] Jamilov S. et al. Mathematical modelling of heat exchange process of locomotive traction electric motors // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3256. – №. 1. – C. 060012.

[13] Yusufov A. Reliability analysis of asynchronous traction electric motors of O'Z-EL series locomotives and ways to improve their operational reliability // *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*. – 2025. – T. 15. – №. 1. – C. 65-69.

[14] Jamilov S. et al. Research of Factors Affecting the Heating and Cooling of Locomotive Traction Electric Machines // *ICTEA: International Conference on Thermal Engineering*. – 2024. – T. 1. – №. 1.

[15] Yusufov A. Analysis of the state and prospects for the development of the locomotive fleet JSC "O'zbekiston temir yo 'llari" // *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*. – 2023. – T. 13. – №. 1. – C. 16-21.

[16] Abdurasulov S., Zayniddinov N., Yusufov A. Requirements for the strength of load-bearing structures of locomotives // *Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent*. – 2023. – T. 30. – C. 44-48.

[17] Khamidov O. R. et al. Investigation of the stress-strain state of the bogie frame of shunting locomotives using the finite element method // *Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы*. – 2023. – С. 504-509.

[18] Abdurasulov S. X. et al. O'zbekiston respublikasi tog'- kon sanoatida foydalanilayotgan tortish agregatlari parking tahlili // *Academic research in educational sciences*. – 2023. – T. 4. – №. 8. – C. 146-157.

[19] Кодиров Н. С. и др. Разработка метода для определения динамической нагруженности узлов

подвижного состава с применением неразрушающего контроля // *Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в.* – 2022. – С. 98.

[20] Хамидов О. Р. и др. Оценка средних напряжений цикла в несущих рамах тепловозов на основе, конечно-элементного, расчета от статических нагрузок // *Academic research in modern science*. – 2022. – T. 1. – №. 9. – C. 118-124.

[21] Абдурасулов Ш. Х. и др. Вестник транспорта поволжья // *вестник транспорта поволжья Учредители: Приволжский государственный университет путей сообщения*. – №. 1. – С. 7-11.

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

Yusufov Abdulaziz / Abdulaziz Yusufov	Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası dotsenti, t.f.f.d., (PhD), E-mail: abdulazizyusufov@bk.ru Tel.: +99894 308 88 08 https://orcid.org/0000-0002-1651-5493
Abdurasulov Sherzamin / Sherzamin Abdurasulov	Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası katta o'qituvchisi, t.f.f.d., (PhD), E-mail: shezamin.tstu@gmail.com Tel.: + 99890 021 04 93 https://orcid.org/0000-0001-5581-507X
Vohidov Azizbek / Azizbek Vohidov	Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası tayanch doktoranti Tel.: +99891 233 00 55
Ulugov Javoxir / Javokhir Ulugov	Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası magistranti Tel.: +99890 947 18 08
Makhmudjanov Abbos / Abbos Makhmudjanov	Toshkent davlat transport universiteti "Lokomotivlar va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası magistranti Tel.: +99890 628 11 31



Integration of case-based reasoning and the k-nearest neighbours algorithm for classification tasks in intelligent decision support systems

D.A. Shodmonov¹^a

¹Samarkand State University named after Sh. Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

Abstract: This paper examines the application of the Case-Based Reasoning (CBR) approach in combination with the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm for solving classification problems in intelligent decision support systems. A model is proposed in which objects are represented as feature vectors followed by data normalization and similarity metric computation. Particular attention is paid to the Retrieve stage, where relevant cases are identified using Euclidean distance and the KNN algorithm. A computational example based on nine parameters is presented, and a comparative analysis of distances and weights is performed. The obtained results demonstrate the effectiveness of integrating CBR and KNN, providing decision interpretability and enabling the generation of adaptive recommendations.

Keywords: Case-Based Reasoning, KNN, classification, intelligent systems, cases, similarity metric, Euclidean distance, decision making, data analysis

Intellectual decision making systems classification tasks in intelligent decision support systems case-based reasoning and k-nearest neighbors algorithm integration

Shodmonov D.A.¹^a

¹Sh. Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada intellektual qaror qabul qilish tizimlarida klassifikatsiya masalalarini yechishda Case-Based Reasoning (CBR) yondashuvi va k-eng yaqin qo'shnilar (KNN) algoritmini integratsiyalash masalasi ko'rib chiqiladi. Obyektlarni belgilarning vektor ko'rinishida ifodalash, ularni normallashtirish va o'xshashlik metrikalarini hisoblash modeli taklif etilgan. Retrieve bosqichida Evklid masofasi va KNN algoritmi asosida eng mos pretsedentlarni aniqlash jarayoni tahlil qilingan. To'qqizta parametr asosida hisoblash tajribasi keltirilgan, masofalar va vaznlar bo'yicha qiyosiy tahlil amalga oshirilgan. Olingan natijalar CBR va KNN integratsiyasi qaror qabul qilish jarayonida aniqlik, izohlanuvchanlik va moslashuvchan tavsiyalar shakllantirish imkonini berishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Case-Based Reasoning, KNN, klassifikatsiya, intellektual tizimlar, pretsedent, o'xshashlik metrikasi, Evklid masofasi, qaror qabul qilish, ma'lumotlarni tahlil qilish

1. Kirish

Raqamli transformatsiya sharoitida hamda HEMIS kabi korporativ axborot tizimlarining keng joriy etilishi natijasida foydalanuvchi ma'lumotlarini tahlil qilish va professional trayektoriyalarni prognozlashga yo'naltirilgan intellektual qaror qabul qilish usullarini ishlab chiqishga ehtiyoj ortib bormoqda. Zamonaviy ma'lumotlarni qayta ishlash tizimlari kiruvchi axborotning yuqori darajadagi geterogenligi bilan tavsiflanadi, moslashuvchanlik va prognozlash aniqligiga qo'yiladigan talablar esa doimiy ravishda oshib bormoqda. Shu sababli, to'plangan tajriba bilan ishlash va shu asosda shaxsiylashtirilgan tavsiyalar shakllantirish imkonini beruvchi sun'iy intellekt usullaridan foydalanish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Mazkur masalani hal etishning samarali yondashuvlaridan biri Case-Based Reasoning usuli bo'lib, u tahlil qilinayotgan obyektning joriy holatini ma'lumotlar bazasida saqlangan oldingi holatlar, ya'ni pretsedentlar bilan taqqoslashga asoslanadi. Ushbu yondashuv doirasida obyektlarning miqdoriy va sifat tavsiflari, shuningdek ularning keyingi holatlari haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga

olgan strukturaviy pretsedentlar bazasi shakllantiriladi. Pretsedentlarni qidirish aniqligini oshirish maqsadida mazkur ishda k-eng yaqin qo'shnilar (KNN) algoritmidan foydalaniladi; ushbu algoritmi o'xshashlik metrikalari asosida eng yaqin holatlarni aniqlash va ularni klassifikatsiya masalasini yechishda qo'llash imkonini beradi[1,2].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Case-Based Reasoning va KNN algoritmi integratsiyasiga asoslangan intellektual klassifikatsiya modelini ishlab chiqish va sinovdan o'tkazishdan iborat. Ishda obyektning to'qqizta parametr bo'yicha vektor ko'rinishida ifodalash, belgi fazosini normallashtirish, pretsedentlarga bo'lgan masofalarni hisoblash hamda og'irlikli ovoz berish mexanizmi orqali sinflarga mansublikni aniqlash jarayoni ko'rib chiqiladi. Olingan natijalar klassifikatsiya aniqligini oshirish va avval kuzatilgan holatlar bilan o'xshashlik tahliliga tayangan holda asoslangan tavsiyalarni shakllantirish imkonini beradi.

^a <https://orcid.org/0009-0006-8239-1376>

Case-Based Reasoning usuli oldin to'plangan tajriba, ya'ni pretsedentlar asosida masalalarni yechish yondashuvi hisoblanadi. Ushbu yondashuvda har bir pretsedent tizimning boshlang'ich holati, qabul qilingan yechim va olingan natijani o'z ichiga olgan strukturaviy birlik sifatida tavsiflanadi. An'anaviy algoritmlardan farqli ravishda, CBR qat'iy matematik modelni oldindan qurishni talab qilmaydi; aksincha, yangi vazifa ilgari kuzatilgan eng yaqin holatlarni izlash va ularning yechimlarini moslashtirish orqali hal qilinadi. Bu yondashuv sust formalashtiriladigan ma'lumotlar bilan ishlashda yuqori interpretatsiyalanuvchanlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi.

CBR ning klassik sikli to'rtta asosiy bosqichni o'z ichiga oladi. Retrieve bosqichida joriy obyekt bilan bilimlar bazasidagi elementlar o'rtasidagi o'xshashlik metrikalari asosida eng relevant pretsedentlar qidiriladi. Reuse bosqichida topilgan yechim joriy masalaga ko'chiriladi va zarurat bo'lganda moslashtiriladi. Revise bosqichi qo'shimcha shartlar va cheklavlarni hisobga olgan holda natijani tekshirish va tuzatishni nazarda tutadi. Retain bosqichida esa yangi holat uning yechimi va natijasi bilan birgalikda pretsedentlar bazasiga qo'shiladi; bu tizimning tajriba jamg'arishini va keyingi murojaatlarda samaradorlikning oshishini ta'minlaydi.

Retrieve bosqichi pretsedentlar bazasidan tahlil qilinayotgan joriy obyektga eng yaqin holatlarni topish uchun mo'ljallangan. Ushbu bosqich sifati keyingi yechimlarning aniqligiga bevosita ta'sir qiladi, chunki tavsifa yoki klassifikatsiya natijasi aynan topilgan pretsedentlar asosida shakllantiriladi. Ko'rib chiqilayotgan modelda har bir obyekt belgilangan o'lchamdagi belgi vektori ko'rinishida ifodalanadi; mazkur tadqiqotda 38 ta o'rganilgan ko'rsatkich ichidan 9 ta parametr tanlab olinib, aynan ular taqqoslashni formalashtirish uchun foydalaniladi.

Relevant pretsedentlarni qidirish jarayonini amalga oshirish uchun ma'lumotlarni formal ko'rinishda ifodalash va obyektlarning belgi fazosida taqqoslanishini ta'minlaydigan hisoblash operatsiyalari ketma-ketligini aniqlash zarur. Shu bois, Retrieve bosqichi ma'lumotlarni tayyorlash va joriy obyekt bilan pretsedentlar bazasi elementlari o'rtasidagi o'xshashlik darajasini hisoblashga qaratilgan bir necha izchil qadamlardan iborat:

1-qadam. Vektor ko'rinishini shakllantirish

Joriy obyekt va ma'lumotlar bazasidagi barcha pretsedentlar vektor ko'rinishida ifodalanadi:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad Y_k = (y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{kn})$$

bu yerda:

- X - joriy obyekt;
- $Y_k - k$ -pretsedent;
- n - parametrlar soni.

2-qadam. Belgilarni normallashtirish

Parametrlar turli o'lchov shkalalarida berilganligi sababli, ular yagona oraliqqa, masalan $[0;1]$ ga keltiriladi:

$$x'_i = \frac{x_i}{x_{i\max}}$$

Bu amaliyot masofalarni hisoblashda alohida belgilar ta'sirining haddan tashqari ustun bo'lib ketishini oldini oladi.

3-qadam. O'xshashlik metrikasini tanlash

Obyektlar orasidagi yaqinlikni baholash uchun masofa metrikasidan foydalaniladi. Eng ko'p qo'llaniladigan metrika Evklid masofasidir:

$$d(X, Y_k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - y_{ki})^2}$$

Zarurat tug'ilganda vaznli ko'rinishdan ham foydalanish mumkin:

bu yerda w_i — i -parametrning ahamiyat koeffitsienti[3,4,5].

4-qadam. Barcha pretsedentlarga bo'lgan masofalarni hisoblash

Bilimlar bazasidagi har bir element uchun

$$d_1, d_2, \dots, d_m$$

masofalar hisoblanadi; bu yerda m — pretsedentlar soni.

5-qadam. Pretsedentlarni saralash

Hisoblangan masofalar o'sish tartibida saralanadi:

$$d_{(1)} \leq d_{(2)} \leq \dots \leq d_{(m)}$$

Minimal qiymatga ega pretsedentlar eng relevant holatlar deb qabul qilinadi.

6-qadam. k ta eng yaqin holatni tanlash

Saralangan ro'yxatdan dastlabki k ta element tanlab olinadi:

$$N_k = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$$

. Mazkur to'plam joriy obyektning lokal qo'shnichilik muhitini hosil qiladi.

Retrieve bosqichini amalga oshirish jarayonida nafaqat joriy obyekt va pretsedentlar o'rtasidagi o'xshashlikni aniqlash, balki eng relevant holatlarni tanlash jarayonini ham formalashtirish zarur bo'ladi. Buning uchun ma'lumotlar ko'p o'lchovli belgi fazosida vektor ko'rinishida qaraladi va obyektlar orasidagi yaqinlik masofa metrikalari asosida miqdoriy baholanadi. Biroq pretsedentlarni faqat masofa bo'yicha tartiblashning o'zi yetarli emas, chunki qaror qabul qilishda joriy nuqta atrofidagi lokal tuzilma va sinflarning taqsimotini hisobga olish talab etiladi. Shu sababli eng yaqin pretsedentlarni aniqlash va ularning ta'sirini sinf mansubligini aniqlashda umumlashtirish imkonini beruvchi usullardan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi[8].

Retrieve bosqichida k -eng yaqin qo'shnilar (KNN) algoritmidan samarali foydalanish mumkin. Ushbu algoritim relevant pretsedentlarni qidirish jarayonini formal ko'rinishga keltiradi va obyektning belgi fazosidagi eng yaqin qo'shnilar sinfiga tayangan holda klassifikatsiyasini amalga oshiradi.

KNN algoritmining mohiyati joriy obyektning belgi fazosida joylashgan qo'shni pretsedentlar sinflari bo'yicha baholashdan iborat. Dastlab quyidagi eng yaqin qo'shnilar to'plami aniqlanadi:

$$N_k(X)$$

So'ngra har bir c sinf uchun ovoz berish funksiyasi hisoblanadi:

$$V(c) = \sum_{Y_i \in N_k} \frac{1}{d(X, Y_i)} \cdot I(y_i = c)$$

bu yerda $I(y_i = c)$ — pretsedentning c sinfga mansubligi indikator, $d(X, Y_i)$ esa obyektlar orasidagi masofa.

Natijaviy sinf quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{Class}(X) = \arg \max_c V(c)$$

Shunday qilib, Retrieve bosqichi belgi fazosini shakllantirish, ma'lumotlarni normallashtirish, o'xshashlik metrikalarini hisoblash va eng relevant pretsedentlarni tanlash jarayonlarini o'z ichiga oladi. KNN algoritmidan foydalanish nafaqat yaqin holatlarni topish, balki lokal ma'lumotlar tuzilmasi asosida obyektning dastlabki klassifikatsiya qilish imkonini ham beradi; bu esa butun tizimning aniqligi va interpretatsiyalanuvchanligini oshiradi.



Masalaning matematik qo'yilishi. Taqdim etilgan yondashuv va algoritim bosqichlarini amaliy masalaga qo'llab ko'ramiz. Har bir obyekt quyidagi 9 ta belgi bilan tavsiflanadi: 1) GPA; 2) dasturlash; 3) matematika; 4) profil fanlar; 5) ingliz tili; 6) loyihalar; 7) stajirovka; 8) soft skills; 9) motivatsiya.

Avvalo joriy obyekt X uchun dastlabki ma'lumotlarni keltiramiz (1-jadval).

1-jadval

Joriy obyekt X parametrlarining qiymatlari

No	Parametr	Qiymat
1	GPA	3.7
2	Dasturlash	84
3	Matematika	78
4	Profil fanlar	82
5	Ingliz tili	72
6	Loyihalar	3
7	Stajirovka	2
8	Soft skills	7
9	Motivatsiya	8

Endi pretseidentlar bazasidagi kasblar bo'yicha 9 ta parametrga oid ko'rsatkichlarni keltiramiz: Y_1 — dasturchi, Y_2 — o'qituvchi, Y_3 — tizim administratori, Y_4 — tarmoq muhandisi (2-jadval).

2-jadval

Pretseidentlar bazasining ko'rsatkichlari

No	Parametrlar	Y_1 — Dasturchi	Y_2 — O'qituvchi	Y_3 — Tizim administratori	Y_4 — Tarmoq muhandisi
1	GPA	3.8	3.7	3.5	3.6
2	Dasturlash	92	62	76	80
3	Matematika	85	75	72	81
4	Profil fanlar	88	80	84	86
5	Ingliz tili	74	76	68	70
6	Loyihalar	5	2	3	4
7	Stajirovka	5	3	5	4
8	Soft skills	6	9	7	7
9	Motivatsiya	9	8	8	9

Belgilar turli shkalalarda berilgani sababli, ularni normallashtirish amalga oshiriladi: GPA 4 ga bo'linadi; 0-100 oralig'idagi ko'rsatkichlar 100 ga bo'linadi; loyihalar soni 5 ga; stajirovka 5 ga; soft skills va motivatsiya 10 ga bo'linadi.

Natijada joriy vektor quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:
 $X = [0.925, 0.84, 0.78, 0.82, 0.72, 0.60, 0.40, 0.70, 0.80]$
 Ko'rib chiqilayotgan kasblar bo'yicha normallashtirilgan pretseidentlar quyidagicha:

$Y_1 = [0.95, 0.92, 0.85, 0.88, 0.74, 1.00, 1.00, 0.60, 0.90]$ — dasturchi.

$Y_2 = [0.925, 0.62, 0.75, 0.80, 0.76, 0.40, 0.60, 0.90, 0.80]$ — o'qituvchi.

$Y_3 = [0.875, 0.76, 0.72, 0.84, 0.68, 0.60, 1.00, 0.70, 0.80]$ — tizim administratori.

$Y_4 = [0.90, 0.80, 0.81, 0.86, 0.70, 0.80, 0.80, 0.70, 0.90]$ — tarmoq muhandisi.

Retrieve bosqichida joriy obyekt va har bir pretseident o'rtasidagi Evklid masofasi hisoblanadi; $d(X, Y_k)$ qiymati qanchalik kichik bo'lsa, pretseident shunchalik yaqin deb qaraladi. Quyida har bir kasb bo'yicha hisoblash natijalari keltiriladi.

«Dasturchi» pretseidentigacha bo'lgan masofa.

$$d(X, Y_1) = 0.746$$

«O'qituvchi» pretseidentigacha bo'lgan masofa.

$$d(X, Y_2) = 0.414$$

«Tizim administratori» pretseidentigacha bo'lgan masofa.

$$d(X, Y_3) = 0.612$$

«Tarmoq muhandisi» pretseidentigacha bo'lgan masofa.

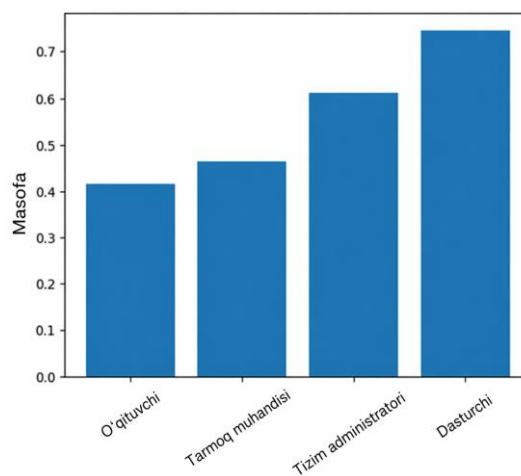
$$d(X, Y_4) = 0.464$$

Joriy obyekt X va pretseidentlar uchun barcha qiymatlar hisoblab chiqilgach, masofalar bo'yicha qiyosiy natijalar 3-jadvalda keltiriladi.

3-jadval

Masofalar bo'yicha qiyosiy natijalar

No	Kasb	Pretseident belgisi	Masofa $d(X, Y_k)$
1	Dasturchi	Y_1	0.746
2	O'qituvchi	Y_2	0.414
3	Tizim administratori	Y_3	0.612
4	Tarmoq muhandisi	Y_4	0.464



1-rasm. Yaqinlik darajasi bo'yicha sinflarni reytinglash diagrammasi

Joriy obyekt va pretseidentlar parametrlariga ko'ra masofalar hisoblangandan so'ng, KNN algoritmi yordamida eng yaqin qo'shnilar aniqlanadi. Retrieve bosqichida masofalar hisoblangach, k ta eng yaqin qo'shni tanlab olinadi. Masalan, $k = 3$ deb qabul qilinganda quyidagi pretseidentlar eng yaqin deb topiladi: o'qituvchi, tarmoq muhandisi va tizim administratori.

Agar oddiy ovoz berish usuli qo'llansa, har bir qo'shni bittadan ovoz beradi va natijani qo'shimcha talqin qilish talab etiladi. Shu sababli mazkur ishda masofaga teskari proporsional bo'lgan vaznli ovoz berish usuli qo'llanadi:



$$w_k = \frac{1}{d(X, Y_k)}$$

Uchta eng yaqin qo'shni uchun vaznlarni hisoblaymiz:
O'qituvchi:

$$w_2 = \frac{1}{0.414} \approx 2.415$$

Tarmoq

muhandisi:

$$w_4 = \frac{1}{0.464} \approx 2.155$$

Tizim

administratori:

$$w_3 = \frac{1}{0.612} \approx 1.634$$

4-jadval

KNN algoritmi bo'yicha vaznlar

№	Kasb	Masofa	Vazn $w = 1/d$
1	O'qituvchi	0.414	2.415
2	Tarmoq muhandisi	0.464	2.155
3	Tizim administratori	0.612	1.634

KNN algoritmi bo'yicha hisoblangan vaznlar natijasi shuni ko'rsatadiki, eng katta vazn «o'qituvchi» pretsedentiga tegishli. Demak, yakuniy klassifikatsiya natijasi quyidagicha bo'ladi:

$Class(X) = O'qituvchi$

Bunda ikkinchi darajadagi yaqin natija sifatida tarmoq muhandisi, uchinchi o'rinda esa tizim administratori qayd etiladi.

Euklid masofalari bo'yicha olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, minimal masofa «o'qituvchi» sinfi uchun kuzatilib, u 0.414 ga teng. Yaqinlik darajasi bo'yicha undan keyingi o'rinlarni 0.464 masofa bilan «tarmoq muhandisi», 0.612 masofa bilan «tizim administratori» hamda 0.746 masofa bilan «dasturchi» sinflari egallaydi. $k = 3$ va vaznli ovoz berish qoidasi qo'llanilgan KNN algoritmi mazkur obyektning «o'qituvchi» sinfiga mansub deb aniqlaydi, chunki aynan shu pretsedent eng yuqori vaznga ega.

Olingan natijalarga tayangan holda amaliy yo'nalishdagi komponentlarni kuchaytirish tavsiya etiladi, xususan stajirovka davomiyligini oshirish, amalga oshirilgan loyihalar sonini ko'paytirish hamda amaliy-professional ko'nikmalarni rivojlantirish maqsadga muvofiqdir. Bu joriy profilni texnik yo'naltirilgan sinflar tomon siljitishga va muhandislik hamda dasturlash faoliyati bilan bog'liq klasslarga moslik ehtimolini oshirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, kommunikativ ko'nikmalarni saqlab qolish va profil fanlar bo'yicha barqaror ko'rsatkichlarni rivojlantirish muvozanatli professional profil shakllanishiga yordam beradi[10].

3. Xulosa

Xulosa qilib aytganda, mazkur ishda Case-Based Reasoning yondashuvi pretsedentlar bilan ishlashning asosiy metodologiyasi sifatida qo'llanildi. k-eng yaqin qo'shnilar algoritmi esa Retrieve bosqichida masofa metrikasi asosida eng yaqin holatlarni aniqlash vositasi sifatida ishlatildi.

Reuse, Revise va Retain bosqichlari esa pretsedentli yondashuv mantig'i doirasida amalga oshirildi; bu nafaqat obyektning klassifikatsiya qilish, balki to'plangan tajribaga tayangan holda moslashuvchan tavsiyalar shakllantirish imkonini ham berdi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Сергеев В. И. Интеллектуальные системы принятия решений: учебное пособие. — М.: Юрайт, 2022. — 310 с.

[2] Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2021. — 384 с.

[3] Шодмонов Давронжон Абдувалиевич, Ибадуллаева Ф. Определение компетентности выпускников для дальнейшего выбора этапа образования с помощью алгоритма классификации // Бюллетень науки и практики. 2018. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kompetentnosti-vypusknikov-dlya-dalneyshogo-vybora-etapa-obrazovaniya-s-pomoschyu-algoritma-klassifikatsii> (дата обращения: 18.04.2026).

[4] Shodmonov D.A. Holatlarga asoslangan xulosalash usuli yordamida kasbga yo'naltirish tizimi maqsadi va vazifalari. "Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt: muommolar, yutuqlar va rivojlanish istiqbollari" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani ma'ruzalar to'plami. TATU Samarqand filiali Samarqand - 2025 yil 24-25 oktabr.

[5] Джурабаев Д. К., Ганиева Н. А. Интеллектуальные методы анализа образовательных данных в цифровых системах профориентации // Современные информационные технологии. — 2024. — № 3. — С. 45–53.

[6] Aamodt A., Plaza E. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches // AI Communications. — 1994. — Vol. 7, № 1. — P. 39–59.

[7] Kolodner J. L. Case-Based Reasoning. — San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1993. — 668 p.

[8] Watson I. Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems. — San Francisco: Morgan Kaufmann, 1997. — 312 p.

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

Shodmonov D.A. Sh.Rashidov nomidagi SamDU,
/ D.A. Mustaqil izlanuvchi
Shodmonov E-mail:
shodmonovd1985@gmail.com
Tel: (93) 338 54 62
<https://orcid.org/0009-0006-8239-1376>



Scientific interpretation of the essence, classification, and evaluation indicators of logistics efficiency

E.A. Kamalova¹^a, A.R. Kholmatov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes the economic essence, classification and methodological interpretation of logistics performance. Based on the World Bank Logistics Performance Index approach, the study examines the relationship between customs, infrastructure, international shipments, logistics competence, tracking and tracing, and timeliness. The article also summarizes the dynamics of Uzbekistan's logistics indicators in 2007-2023 and identifies the main constraints limiting logistics performance. The results show that logistics performance should be assessed not only by transport speed or cost, but through an integrated system of time, price, reliability, service quality, digital tracking and institutional conditions.

Keywords: logistics performance, Logistics Performance Index, transport logistics, customs, infrastructure, international shipments, tracking and tracing, timeliness, Uzbekistan

Научная интерпретация сущности, классификации и оценочных индикаторов логистической эффективности

Камалова Э.А.¹^a, Холматов А.Р.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье научно проанализированы экономическая сущность логистической эффективности, ее классификация и основные индикаторы, применяемые при ее оценке. В исследовании на основе подхода Всемирного банка Logistics Performance Index раскрыта взаимосвязь между компонентами таможенного оформления, инфраструктуры, международных перевозок, качества логистических услуг, отслеживания грузов и своевременной доставки. Также обобщены текущее состояние логистической системы Узбекистана, динамика показателей за 2007-2023 годы, а также факторы, препятствующие повышению логистической эффективности. В результате обоснована необходимость оценки логистической эффективности не только через скорость перевозки или затраты, а в единстве времени, цены, надежности, качества услуг, цифрового мониторинга и институциональной среды.

Ключевые слова: логистическая эффективность, Logistics Performance Index, транспортная логистика, таможня, инфраструктура, международные перевозки, отслеживание грузов, своевременность, Узбекистан

1. Введение

В современных условиях логистика выступает одной из ключевых инфраструктурных систем, связывающих процессы производства, торговли, распределения и потребления в национальной экономике. Сокращение временного интервала от закупки сырья и материалов до доставки готовой продукции конечному потребителю является важным условием повышения конкурентоспособности предприятий, снижения затрат и быстрой адаптации к требованиям рынка. В связи с этим научно обоснованная оценка и управление логистической эффективностью имеют стратегическое значение и для экономики Узбекистана.

Понятие логистической эффективности не ограничивается обычным процессом перевозки или доставкой груза из одной точки в другую. Оно включает качество транспортной и торговой инфраструктуры, скорость таможенного оформления, профессиональный

уровень логистических услуг, цены международной доставки, возможность отслеживания грузов и надежность доставки в установленные сроки. Следовательно, логистическая эффективность представляет собой комплексную категорию, формируемую в результате взаимодействия экономических, технологических, институциональных и управленческих факторов [1].

При выявлении проблем и возможностей стран в сфере логистики важным международным инструментом оценки является разработанный Всемирным банком Logistics Performance Index (LPI). Он оценивает страны по шкале от 1 до 5 баллов и формирует общий рейтинг на основе шести компонентов. Преимущество данного индекса заключается в том, что он учитывает не только инфраструктурное состояние логистической системы, но и качество обслуживания, отслеживание движения грузов и своевременность доставки [2].

^a <https://orcid.org/0000-0002-5250-4919>



В условиях Узбекистана вопрос повышения логистической эффективности непосредственно связан с географическим положением, ограниченностью прямого выхода к морским портам, зависимостью от международных транспортных коридоров, погранично-таможенными процедурами, пропускной способностью автомобильной и железнодорожной инфраструктуры, а также уровнем развития современных логистических центров. Поэтому повышение логистической эффективности требует не только модернизации транспортной системы, но и упрощения внешнеторговых процессов, расширения цифровых механизмов отслеживания и внедрения услуг 3PL и 4PL [3].

Цель исследования заключается в научной интерпретации сущности, классификации и основных индикаторов логистической эффективности, обобщении сильных и слабых сторон логистической системы Узбекистана в рамках методологии LPI, а также обосновании методических направлений повышения эффективности. Для достижения данной цели были проанализированы понятие логистической эффективности, компоненты LPI, международные рейтинги и показатели Узбекистана за 2007-2023 годы [4].

2. Методика исследования

В качестве основных материалов исследования использованы теоретические и аналитические данные о сущности и классификации логистической эффективности, индикаторах LPI, месте Узбекистана в международном логистическом рейтинге и проблемах логистической системы. Эти материалы позволили обобщить научно-практические подходы к логистической эффективности, сгруппировать существующие показатели и интерпретировать их с учетом условий национальной экономики.

С методологической точки зрения статья опирается на методы системного анализа, сравнительного анализа, причинно-следственного анализа, группировки по индикаторам и обобщения. Системный анализ позволил рассматривать логистическую эффективность как

целостную систему, состоящую из взаимосвязанных элементов, таких как транспортная инфраструктура, таможенное оформление, международные перевозки, качество логистических услуг, отслеживание грузов и своевременность. Сравнительный анализ позволил определить различия в национальной логистической системе путем сопоставления показателей Узбекистана с ведущими странами по LPI и государствами с низкими показателями [5,6].

При оценке логистической эффективности шесть компонентов методологии LPI Всемирного банка были приняты в качестве основных единиц анализа: таможня, инфраструктура, международные отправления, качество логистических услуг, отслеживание и сопровождение грузов, а также своевременность. Эти компоненты условно разделены на две группы: первая - политические и ресурсные факторы, формирующие логистический процесс; вторая - показатели обслуживания, отражающие результаты цепи поставок [7].

В исследовании логистическая эффективность интерпретирована через следующую функциональную зависимость:

$$LS = f(C, I, S, Q, T, V, R) \quad (1)$$

где LS - логистическая эффективность; C - эффективность таможенного оформления; I - качество торговой и транспортной инфраструктуры; S - удобство организации международной доставки; Q - качество логистических услуг и компетентность кадров; T - возможность отслеживания и сопровождения грузов; V - уровень своевременной доставки; R - институциональная и цифровая управленческая среда. Данная зависимость требует оценивать логистическую эффективность не как единичный показатель, а как результат многофакторного управления [8].

При интерпретации данных было раскрыто экономическое содержание каждого индикатора и определено его влияние на конкурентоспособность страны и эффективность внешней торговли. Вместе с тем на основе общего показателя Узбекистана в 2023 году на уровне 2,6 балла, результатов по субиндексам и динамики за 2007-2023 годы были сгруппированы основные проблемы и приоритетные меры.

Таблица 1

Компоненты индекса логистической эффективности и их экономическое содержание

Компонент	Содержание	Влияние на эффективность
1	2	3
Таможня	Скорость, простота и степень предсказуемости процесса таможенного и пограничного оформления	Снижает потери времени и затрат в экспортно-импортных операциях
Инфраструктура	Качество связанных с торговлей и транспортом дорог, терминалов, аэропортов, складов и информационных систем	Определяет скорость движения грузопотоков и пропускную способность
Международные отправления	Удобство организации международной доставки по конкурентоспособным ценам	Снижает расходы внешней торговли и облегчает выход на рынок
Качество логистики	Качество логистических услуг, квалификация операторов и кадров	Повышает надежность услуг и улучшает управление цепью поставок
Отслеживание и сопровождение	Возможность онлайн-отслеживания движения грузов и обеспечения точности местонахождения	Усиливает прозрачность, контроль и оперативное принятие решений



Своевременность	Уровень доставки грузов получателю в запланированное или ожидаемое время	Повышает договорную дисциплину, доверие и удовлетворенность клиентов
-----------------	--	--

Источник: обобщено автором на основе методологии LPI.

3. Результаты и Обсуждение

Результаты анализа показывают, что логистическая эффективность формируется через баланс между входными факторами цепи поставок и ее конечными результатами. Таможня, инфраструктура и качество логистических услуг относятся к основным ресурсным и политическим сферам цепи поставок. Международные отправления, отслеживание и своевременность показывают, какой практический результат дают эти ресурсы. Следовательно, даже при развитой инфраструктуре общая логистическая эффективность не может быть высокой, если таможенные процедуры занимают много времени или система отслеживания грузов является слабой.

Первый важный результат логистической эффективности связан с сокращением временных затрат в производственных и торговых процессах. По мере ускорения движения материалов и готовой продукции предприятия уменьшают складские запасы, эффективнее используют оборотные средства и быстрее реагируют на рыночный спрос. По данным Европейской логистической ассоциации, эффективное использование логистических операций может сократить время, затрачиваемое на производство продукции, на 27 процентов, производственные расходы - на 31 процент, а объем материальных запасов - на 30-70 процентов. Это показывает, что логистическая эффективность непосредственно связана с затратами предприятия и национальной конкурентоспособностью [9].

Результаты LPI за 2023 год показывают, что ведущие страны обладают высоко цифровизированной таможенной системой, качественной инфраструктурой, профессиональными логистическими операторами и надежными цепями поставок. Высокие баллы таких государств, как Сингапур, Финляндия, Дания, Нидерланды и Швейцария, свидетельствуют о том, что логистические услуги в них интегрированы не только как транспортный процесс, но и с цифровыми, институциональными и сервисными подходами.

Общий балл LPI Узбекистана в 2023 году, сформировавшийся на уровне около 2,6, показывает, что при наличии определенного роста в логистической системе страны возможности повышения эффективности остаются значительными. По субиндексам таможня составила 2,6 балла, инфраструктура - 2,4 балла, международные перевозки - 2,6 балла, качество логистических услуг - 2,6 балла, отслеживание грузов - 2,4 балла и своевременность - 2,8 балла. Относительно высокий показатель наблюдается по своевременности, тогда как показатели инфраструктуры и отслеживания грузов требуют особого внимания.

Причинно-следственный анализ показывает наличие нескольких системных проблем в логистике Узбекистана. Во-первых, в экспортно-импортных процессах высоки затраты времени и средств на документирование и пропуск грузов. Во-вторых, в перевозочном процессе цифровизация и современные системы мониторинга применяются недостаточно. В-третьих, придорожная инфраструктура, TIR parking, современные логистические центры и пропускная способность пограничной инфраструктуры не соответствуют требуемому уровню. В-четвертых, недостаточно широкое внедрение услуг 3PL и 4PL ограничивает возможности профессионального управления логистической цепью.

Динамика 2007-2023 годов свидетельствует о том, что в Узбекистане в отдельные годы по компонентам LPI наблюдались как рост, так и снижение. Показатель таможни снизился до 1,80 балла в 2014 году, тогда как в 2023 году достиг 2,6 балла. Показатель инфраструктуры составил 2,00 балла в 2007 году, 2,57 балла в 2018 году и около 2,4 балла в 2023 году. Показатель своевременности в 2010 году поднялся до 3,72 балла, а в 2023 году составил 2,8 балла. Это показывает, что для устойчивого развития логистической эффективности необходимы не меры по одному направлению, а комплексные действия по всем компонентам.

Таблица 2

Обобщенные результаты Узбекистана по субиндексам LPI за 2023 год

Субиндексы	Балл	Аналитический комментарий
1	2	3
Таможня	2,6	Требуется упрощение процедур оформления и сокращение времени ожидания на границе
Инфраструктура	2,4	Необходима модернизация дорог, железных дорог, терминалов, складов и пропускной способности границ
Международные перевозки	2,6	Необходимо расширять систему конкурентоспособных тарифов и удобных международных направлений
Качество логистических услуг	2,6	Необходимо усилить потенциал услуг 3PL/4PL, экспедирования и квалифицированных кадров
Отслеживание и сопровождение	2,4	Необходимо ускорить внедрение GPS, электронного документооборота и единых информационных платформ



Своевременность	2,8	Несмотря на относительно высокий показатель, важно устойчиво обеспечивать надежность доставки
------------------------	-----	---

Источник: обобщено на основе данных LPI за 2023 год.

Ниже приведенная таблица показывает, что в 2007-2023 годах баллы Узбекистана по компонентам LPI изменялись не в рамках единой тенденции. Данное обстоятельство обосновывает, что логистическую эффективность невозможно улучшить только за счет

одного показателя; напротив, требуется взаимосвязанное управление между таможней, инфраструктурой, международными перевозками, качеством сервиса, отслеживанием и своевременностью [10].

Таблица 3

Динамика баллов Узбекистана по компонентам LPI за 2007-2023 годы

Годы	Таможня	Инфраструктура	Международная доставка	Качество логистики	Отслеживание	Своевременность
1	2	3	4	5	6	7
2007	1,94	2,00	2,07	2,15	2,08	2,73
2010	2,20	2,54	2,79	2,50	2,96	3,72
2012	2,25	2,25	2,38	2,39	2,53	2,96
2014	1,80	2,01	2,23	2,37	2,87	3,08
2016	2,32	2,45	2,36	2,39	2,05	2,83
2018	2,10	2,57	2,42	2,59	2,71	3,09
2023	2,60	2,40	2,60	2,60	2,40	2,80

Источник: составлено на основе данных LPI Всемирного банка.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показывают необходимость интегрального подхода к оценке логистической эффективности. Если в стране улучшается инфраструктура, но таможенные и пограничные процедуры остаются медленными, общее время доставки экспортно-импортных грузов не сокращается. Напротив, если таможенная система цифровизируется, но терминальная и складская инфраструктура недостаточна, заторы в грузопотоках и расходы на перегрузку сохраняются. Поэтому логистическая эффективность определяется не состоянием каждого компонента в отдельности, а их взаимной согласованностью [11].

Отсутствие у Узбекистана прямого выхода к морским портам создает дополнительную нагрузку на логистическую эффективность. В таких условиях международные транспортные коридоры, мультимодальные перевозки, интеграция с инфраструктурой соседних стран, транзитные соглашения и пропускная способность границ определяют конкурентоспособность внешней торговли страны. В частности, если транспортные расходы для экспортируемой продукции высоки или срок доставки неопределен, ценовое преимущество продукции на внешнем рынке снижается.

В ходе обсуждения установлено, что цифровизация занимает особое место в повышении логистической эффективности. Электронный документооборот, единые информационные платформы, онлайн-отслеживание грузов, система электронной очереди, GPS monitoring и предварительное представление таможенных данных повышают прозрачность логистических процессов. Вместе с тем одной цифровизации недостаточно: она дает эффект тогда,

когда действует совместно с правовыми процедурами, квалификацией кадров, инфраструктурой и стандартами обслуживания.

Качество логистических услуг и компетентность кадров также имеют важное методическое значение. В современной логистике перевозка, складирование, перегрузка, экспедирование, таможенное брокерство, страхование, документирование и информационный обмен управляются в единой цепи. В этом процессе развитие операторов 3PL и 4PL позволяет предприятиям-клиентам сосредоточиться на основной деятельности, а логистические процессы передать профессиональным операторам. Недостаточно широкое внедрение этих услуг в Узбекистане остается одним из факторов, ограничивающих логистическую эффективность.

Проблемы инфраструктуры не ограничиваются только качеством автомобильных или железных дорог. TIR parking, пограничные терминалы, объекты складирования и перегрузки, холодовая цепь, логистические центры, пункты быстрой сортировки и распределения грузов также влияют на общую эффективность. Например, даже при улучшении качества дорог общие логистические затраты не снижаются, если время ожидания на границе остается длительным или складско-перегрузочные услуги являются дорогими.

Международный опыт показывает, что в странах с высокой логистической эффективностью важное значение имеют стабильность политики, прозрачность таможенных процедур, инфраструктурные инвестиции и высокий уровень участия частного сектора. С этой точки зрения в Узбекистане к числу приоритетных задач должны относиться государственно-частное партнерство, развитие логистических центров,



совершенствование тарифной политики, диверсификация транспортных коридоров и усиление цифрового обмена данными.

Меры по повышению логистической эффективности целесообразно разрабатывать во взаимосвязи с индикаторами. Например, по таможене - сокращение времени оформления; по инфраструктуре - повышение

пропускной способности и мощности терминалов; по международным перевозкам - расширение конкурентоспособных тарифов и маршрутов; по качеству логистики - повышение квалификации кадров и операторов; по отслеживанию - внедрение GPS и электронного документооборота; по своевременности - обеспечение надежности доставки.

Таблица 4

Проблемы и направления повышения логистической эффективности Узбекистана

Проблемы	Основное влияние	Направление совершенствования
1	2	3
Высокие затраты времени и средств на документирование экспортно-импортных операций	Увеличиваются внешнеторговые расходы и сроки доставки	Расширение электронного документооборота, предварительного декларирования и единой информационной платформы
Ограниченная пропускная способность пограничной и терминальной инфраструктуры	Возникают очереди, простои и логистические задержки	Модернизация пограничных терминалов, развитие электронной очереди и систем TIR parking
Недостаточность современных логистических центров	Увеличиваются расходы на складирование, сортировку и перегрузку	Расширение сети региональных логистических центров, холодовой цепи и мультимодальных терминалов
Слабое развитие услуг 3PL и 4PL	Предприятия не могут управлять логистическими процессами на основе профессионального аутсорсинга	Развитие рынка логистических операторов, стандартизация и повышение качества сервиса
Неполное внедрение систем отслеживания грузов	Снижается прозрачность, клиентам не хватает надежной информации	Расширение GPS/AVL monitoring, электронного tracking и обмена real-time данными
Недостаток квалифицированных кадров	Ограничиваются качество услуг и инновационное управление	Усиление подготовки кадров в сфере логистики, таможни, экспедирования и цифрового транспортного управления

Источник: составлено автором на основе причинно-следственного анализа, приведенного в материале.

При повышении логистической эффективности необходимо применять индикаторы как инструмент целевого управления. Для этого по каждому субиндексу должны быть определены ответственные организации, периодичность измерения, источник данных и целевой результат. Например, в качестве отдельных индикаторов могут быть приняты время таможенного оформления, пропускная способность терминала по инфраструктуре, стоимость доставки контейнерным или автомобильным транспортом по международным перевозкам, доля real-time данных по отслеживанию [12].

На национальном уровне важна также детализация компонентов LPI в региональном разрезе. Это связано с тем, что логистическая эффективность в столице, крупных промышленных центрах, приграничных территориях и отдаленных регионах неодинакова. Региональная оценка позволяет определить размещение логистических центров, установить приоритетные транспортные направления для предприятий-экспортеров и целевым образом распределить инфраструктурные инвестиции.

С практической точки зрения решения по повышению логистической эффективности должны основываться не на принципе «одного крупного проекта», а на комплексе взаимосвязанных малых и средних мер. Общий результат будет выше, если электронное декларирование, увеличение мощности терминалов, развитие придорожных сервисов, онлайн-отслеживание грузов, стандартизация транспортно-экспедиторских услуг и повышение квалификации кадров осуществляются одновременно.

4. Заключение

Результаты исследования показали, что логистическая эффективность является многофакторной и комплексной экономической категорией. Она должна оцениваться не только движением транспортных средств, объемом перевезенных грузов или тарифами на перевозку, но и таможенным оформлением, качеством инфраструктуры, удобством организации международных перевозок, компетентностью логистических услуг, отслеживанием грузов и уровнем своевременной доставки.

Методология LPI Всемирного банка является удобным инструментом для международного сопоставления логистической эффективности, выявления логистических проблем стран и обоснования политико-экономических решений. Значение данной методологии для условий Узбекистана заключается в том, что она четко показывает слабые звенья логистической системы - инфраструктуру, отслеживание, качество сервиса, расходы на международные перевозки и таможенные процедуры.

В динамике LPI Узбекистана за 2007-2023 годы наблюдались отдельные положительные изменения, однако показатели не достигли стабильно высокого уровня. В 2023 году общий балл страны составил около 2,6, при этом по субиндексам инфраструктуры и отслеживания грузов требуются дополнительные реформы. Хотя своевременность оценена относительно высоко, стабильность сроков доставки необходимо



укреплять с учетом пограничных, терминальных, маршрутных и внешнеполитических факторов.

Для повышения логистической эффективности требуется комплексный подход: упрощение таможенных и пограничных процедур, развитие современных логистических центров и сети TIR parking, расширение мультимодальных перевозок, внедрение услуг 3PL и 4PL, усиление цифровых tracking систем, повышение квалификации кадров и активизация механизмов государственно-частного партнерства. Такой подход будет способствовать повышению конкурентоспособности внешней торговли страны, сокращению транспортных расходов и усилению стратегического значения логистической системы в национальной экономике.

Таким образом, научно обоснованная оценка логистической эффективности и управление ею являются важной методической основой модернизации транспортно-логистической системы в Узбекистане. В дальнейшем целесообразно разработать систему национальных индикаторов по компонентам LPI, оценивать логистическую эффективность в региональном разрезе и внедрять модели прогнозирования на основе цифровых данных.

Использованная литература / References

[1] World Bank. Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in the Global Economy. The Logistics Performance Index and Its Indicators. Washington, DC: World Bank, 2023.

[2] World Bank. Logistics Performance Index (LPI) International Scorecard and Database. данные за 2007-2023 гг.

[3] Arvis J.-F., Ojala L., Wiederer C., Shepherd B., Raj A., Dairabayeva K., Kiiski T. Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy. Washington, DC: World Bank, 2018.

[4] European Logistics Association. Logistics efficiency and supply chain performance materials.

[5] Стратегические и программные документы по развитию транспортно-логистической системы в Республике Узбекистан.

[6] Научно-практические материалы по международным транспортным коридорам, качеству логистических услуг и эффективности внешней торговли.

[7] Аналитические материалы, обобщенные автором: сущность, классификация логистической эффективности и компоненты LPI.

[8] Аналитические данные о влиянии развития торговой и транспортной инфраструктуры на расходы международной доставки.

[9] Практические данные по таможенному оформлению, электронному документообороту и цифровым tracking системам.

[10] Научные источники о влиянии развития логистических услуг 3PL и 4PL на эффективность цепи поставок.

[11] Аналитические материалы по оценке международных транспортных коридоров и транзитного потенциала Центральной Азии.

[12] Нормативно-практические материалы по модернизации транспортно-логистической инфраструктуры и механизмам государственно-частного партнерства в Узбекистане.

Информация об авторах/ Information about the authors

Камалова Эльвир Абсаттаровна / Elvira Kamalova	Ташкентский государственный экономический университет, доктор философии по экономическим наукам (PhD), доцент E-mail: elvirakamalova@mail.ru Tel.: +998 91 162 84 65 https://orcid.org/0000-0002-5250-4919
--	---

Холматов Абдурахимжон Робилжон угли / Abdurakhimjon Kholmatov	Ташкентский государственный транспортный университет, студент кафедры «Транспортная логистика» E-mail: abdurahimxolmatov9@gmail.com Tel.: +998 95 187 77 57
---	---



The role and specific features of logistics efficiency in the transport system within the national economy

E.A. Kamalova¹^a, A.R. Kholmatov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes the role of logistics efficiency in the transport system within the national economy, its intersectoral connecting function, and its mechanism of influence on economic results. Transport logistics is considered as a complex management system that supports production, the domestic market, export-import operations, regional integration, and transit potential. The study substantiates the need to jointly consider factors such as time, cost, reliability, infrastructure, multimodal integration, digitalization, and environmental sustainability when evaluating logistics efficiency. As a result, a functional approach linking transport-logistics efficiency with national economic outcomes, as well as a system of indicators applicable in practice, was developed.

Keywords: transport logistics, logistics efficiency, national economy, multimodal transportation, transport infrastructure, digitalization, transit potential

Роль и особенности логистической эффективности транспортной системы в национальной экономике

Камалова Э.А.¹^a, Холматов А.Р.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье проанализированы роль логистической эффективности транспортной системы в национальной экономике, ее межотраслевая связующая функция и механизм влияния на экономические результаты. Транспортная логистика рассматривается как комплексная система управления, обеспечивающая производство, внутренний рынок, экспортно-импортные операции, региональную интеграцию и транзитный потенциал. В исследовании обоснована необходимость совместного учета факторов времени, затрат, надежности, инфраструктуры, мультимодальной интеграции, цифровизации и экологической устойчивости при оценке логистической эффективности. В результате сформированы функциональный подход, связывающий транспортно-логистическую эффективность с национальными экономическими результатами, а также система показателей, применимая на практике.

Ключевые слова: транспортная логистика, логистическая эффективность, национальная экономика, мультимодальные перевозки, транспортная инфраструктура, цифровизация, транзитный потенциал, экономическая эффективность

1. Введение

Транспортная логистика является важной инфраструктурно-организационной системой, обеспечивающей взаимосвязь этапов производства, распределения, обмена и потребления в национальной экономике. Она обеспечивает своевременную, экономически рациональную и надежную доставку сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, экспортно-импортных грузов и товаров, необходимых для удовлетворения потребностей населения, в установленный пункт назначения. В этом отношении транспортная логистика выступает не просто совокупностью транспортных услуг, а комплексным управленческим механизмом, определяющим устойчивое функционирование национальной экономики, экономические связи между регионами,

внешнеторговый потенциал и конкурентоспособность страны.

В современных экономических условиях логистическая эффективность не ограничивается скоростью движения транспортных средств или объемом перевезенных грузов. Она охватывает такие факторы, как качество дорожной и терминальной инфраструктуры, интеграция между видами транспорта, таможенные и пограничные процедуры, цифровое отслеживание грузов, складирование, перегрузка, экспедиторские услуги, надежность доставки и экологическая устойчивость. В подходе Всемирного банка Logistics Performance Index логистическая эффективность также рассматривается как инструмент комплексной оценки проблем и возможностей страны в сфере торговой логистики [2].

С точки зрения национальной экономики транспортная логистика обеспечивает связь между

^a <https://orcid.org/0000-0002-5250-4919>



производителем и потребителем, сырьевой базой и промышленным предприятием, внутренним и внешним рынками, центральными территориями и отдаленными регионами. Эффективная логистическая система обеспечивает непрерывность производства, ускоряет товарооборот, повышает конкурентоспособность экспортной продукции и снижает региональные экономические диспропорции.

Цель исследования заключается в научном обосновании роли логистической эффективности транспортной системы в национальной экономике, систематизации ее специфических особенностей и формировании комплекса функциональных показателей, которые могут применяться для оценки. Для достижения данной цели были взаимосвязанно проанализированы экономическое содержание транспортной логистики, направления ее влияния на национальную экономику, структурные элементы и оценочные индикаторы.

2. Методика исследования

В качестве материалов исследования использованы теоретические сведения о функциях транспортной логистики в национальной экономике, международные подходы к оценке логистической эффективности, стратегические цели, установленные в Узбекистане по интеграции в транспортно-логистические сети, а также сведения о функциональных элементах транспортной системы.

В исследовании применены методы системного анализа, функционально-экономического анализа, сравнительного анализа, группировки, обобщения и формирования системы показателей. Системный анализ позволил рассмотреть транспортную логистику как единый комплекс, состоящий из транспортных средств, инфраструктуры, терминалов, складов, информационных систем, таможенно-пограничных процессов, кадрового обеспечения и нормативно-правовой среды. Функционально-экономический анализ был направлен на выявление прямого и косвенного влияния транспортной логистики на экономические результаты.

При оценке логистической эффективности в качестве основного методического принципа принят баланс «затраты - время - надежность - качество». Это обусловлено тем, что самый дешевый вариант перевозки не всегда является экономически эффективным: он может привести к увеличению сроков доставки, снижению сохранности груза или задержке исполнения договорных обязательств. Вместе с тем наиболее быстрый вариант перевозки вследствие высоких затрат может снизить общий логистический результат.

Влияние транспортной логистики на национальную экономику можно выразить через следующую общую

функциональную зависимость:

$$Y_e = f(T, C, R, I, M, D, E) \quad (1)$$

где Y_e - экономический результат, формируемый посредством логистики в национальной экономике; T - время доставки; C - логистические затраты; R - надежность перевозки; I - состояние транспортно-логистической инфраструктуры; M - уровень мультимодальной интеграции; D - уровень цифровизации; E - показатель экологической и энергетической эффективности [3].

При практической оценке указанные факторы могут быть приведены к единому интегральному показателю. Для этого каждый фактор нормализуется, а также задается весовой коэффициент, отражающий степень его влияния на логистический результат. В общем виде индекс логистической эффективности выражается следующим образом:

$$K_{le} = \sum w_i \cdot X_i', \quad \sum w_i = 1, \quad (2)$$

где K_{le} - интегральный индекс транспортно-логистической эффективности; w_i - вес значимости i -го фактора; X_i' - нормализованный индикатор. Данный подход позволяет сопоставлять различные виды транспортных перевозок на единой методической основе, выявлять слабые звенья и экономически обосновывать управленческие решения [4].

3. Результаты и Обсуждение

Результаты анализа показали, что влияние транспортной логистики на национальную экономику проявляется по нескольким направлениям. Во-первых, она обеспечивает непрерывность производственного процесса: своевременная доставка сырья, материалов, запасных частей и энергетических ресурсов для предприятий способствует эффективному использованию производственных мощностей. Во-вторых, ускоряется товарооборот на внутреннем рынке и снижаются ценовые колебания. В-третьих, при экспортно-импортных операциях транспортные затраты, таможенное оформление и время прохождения границы оказывают прямое влияние на международную конкурентоспособность продукции.

В-четвертых, транспортная логистика поддерживает региональное развитие. Транспортные пути, логистические центры, железнодорожные станции, автомобильные терминалы и складские объекты вовлекают территории в экономический оборот. В-пятых, логистическая система повышает возможности использования транзитного потенциала страны. В условиях Узбекистана данный вопрос имеет особое значение, поскольку страна не имеет прямого выхода к морским портам и во внешнеэкономических направлениях опирается на международные транспортные коридоры, инфраструктуру соседних государств и мультимодальные решения.

Таблица 1

Направления влияния транспортной логистики на национальную экономику		
Направление влияния	Экономическое содержание	Ожидаемый результат
1	2	3
Непрерывность производства	Своевременная доставка сырья, материалов и запасных частей	Повышается уровень использования



		производственных мощностей предприятий
Стабильность внутреннего рынка	Ускорение товарооборота между регионами	Сокращаются товарный дефицит и колебания цен
Эффективность экспортно-импортных операций	Доставка внешнеторговых грузов в короткие сроки и с приемлемыми затратами	Повышается конкурентоспособность продукции
Региональная интеграция	Вовлечение центральных и периферийных регионов в экономические связи	Снижается межрегиональная экономическая диспропорция

Результаты показали, что специфика транспортной логистики определяется ее взаимосвязью со всеми отраслями экономики, потребностью в значительных инфраструктурных затратах, необходимостью координации между видами транспорта и высокой

зависимостью от фактора времени. Эти особенности отличают транспортную логистику от обычной перевозочной деятельности и превращают ее в стратегический объект управления национальной экономикой [5].

Таблица 2

Особенности транспортной логистики и их научно-практическое значение

Специфическая особенность	Содержание	Научно-практическое значение
1	2	3
Системность	Совместное функционирование транспорта, терминалов, складов, таможенных и информационных систем	Эффективность оценивается через все звенья логистической цепи
Мультимодальность	Применение нескольких видов транспорта во взаимосвязанном формате	Требуется согласование перегрузки, тарифов и графиков
Своевременность	Задержки влияют на результаты производства и торговли	Время доставки и надежность становятся ключевыми индикаторами
Высокая капиталоемкость	Дороги, терминалы, склады и технический парк требуют значительных инвестиций	Важное значение приобретают государственно-частное партнерство и инвестиционная политика
Институциональная зависимость	Зависимость от лицензирования, таможи, тарифов и международных норм	Нормативно-правовая среда определяет эффективность
Необходимость цифровизации	Требуется отслеживание грузов, электронные документы и обмен данными	Повышаются прозрачность, оперативность и качество управления
Экологическое воздействие	Связано с выбросами CO ₂ транспортом и расходом топлива	Требуется зеленая логистика и энергосбережение

Транспортная логистика оказывает прямое и косвенное влияние на национальную экономическую эффективность. Прямое влияние проявляется через объем транспортных услуг, доходы от перевозок, рынок логистических услуг, складские и терминальные услуги, экспедиторскую и сервисную деятельность. Косвенное влияние формируется через себестоимость производства, экспортную конкурентоспособность, доступ к региональным рынкам, инвестиционную среду

и устойчивость потребительского рынка [7].

Система показателей для оценки целесообразно должна включать экономический, временной, надежный, инфраструктурный, цифровой и экологический блоки. Эти блоки позволяют оценивать логистический процесс не как отдельную транспортную операцию, а как интегральную систему, влияющую на конечный результат в национальной экономике.

Таблица 3

Рекомендуемая система показателей для оценки логистической эффективности

Факторы	Показатели факторов	Значение в управлении
1	2	3
Экономический	Себестоимость 1 тонно-км, общие логистические затраты, издержки простоя	Сокращение затрат и обоснование тарифной политики



Временной	Срок доставки, время прохождения границы, время ожидания в терминале	Ускорение грузооборота и обеспечение договорной дисциплины
Надежность	Доля своевременных доставок, повреждение груза, стабильность рейсов	Повышение качества обслуживания и удовлетворенности клиентов
Инфраструктурный	Пропускная способность дорог и терминалов, складская мощность, состояние транспортного парка	Определение инвестиционных направлений
Цифровой	GPS/AVL мониторинг, электронный документооборот, онлайн-отслеживание	Обеспечение прозрачности и оперативного принятия решений
Экологический	Расход топлива, выбросы CO ₂ , энергетическая эффективность	Усиление зеленой логистики и ресурсосбережения

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показывают необходимость оценки транспортной логистики как стратегической системы, обеспечивающей межотраслевую интеграцию в национальной экономике. Низкая эффективность транспортной логистики оказывает отрицательное влияние не только на деятельность перевозочных предприятий, но и на промышленное производство, вывод сельскохозяйственной продукции на рынок, розничные торговые сети, внешнеторговые контракты и региональное развитие. Поэтому повышение логистической эффективности является не отраслевой, а макроэкономически значимой задачей.

Для Узбекистана стратегическое значение транспортной логистики является особенно высоким. Страна расположена в центральной части Центральной Азии и представляет собой важную связующую территорию для региональной торговли, транзита, промышленной кооперации и международных транспортных коридоров. В то же время отсутствие прямого выхода к морским портам делает эффективность транспортных коридоров, инфраструктуры соседних государств, таможенно-пограничных процедур и мультимодальных перевозок решающим фактором в международных перевозках.

В Стратегии «Узбекистан - 2030» определены задачи по углублению интеграции в глобальные транспортно-логистические сети и повышению потенциала национальной транспортной системы [1]. Для реализации этих целей недостаточно только расширения автомобильной или железнодорожной инфраструктуры; требуются взаимосвязанные меры, такие как развитие логистических центров, терминалов, цифрового документооборота, онлайн-отслеживания грузов, согласование тарифов, упрощение пограничных процедур и повышение кадрового потенциала.

Результаты обсуждения показывают, что в повышении логистической эффективности особое значение имеют три приоритетных направления. Первое направление - инфраструктурная координация: автомобильные дороги, железные дороги, терминалы и склады должны планироваться как единая транспортно-логистическая цепь. Второе направление - цифровизация: электронный документооборот, онлайн-отслеживание движения грузов, автоматизированная система очередности в терминалах и обмен данными повышают прозрачность услуг. Третье направление - институциональная координация: лицензирование, таможня, тарифная политика, государственно-частное партнерство и разрешения на международные перевозки непосредственно влияют на логистическую

эффективность.

Предложенный в рамках исследования функциональный подход позволяет оценивать результаты транспортной логистики не только через объем перевезенных грузов или транспортный оборот, но и через создаваемую ею добавленную ценность для национальной экономики. В практическом плане данный подход может способствовать снижению логистических затрат, ускорению товарооборота, расширению экспортного потенциала, укреплению региональных производственных связей и повышению инвестиционной привлекательности.

4. Заключение

Транспортная логистика является стратегической инфраструктурно-организационной системой национальной экономики, связывающей производство, торговлю, сферу услуг, региональный обмен и внешнеэкономическую деятельность.

При оценке логистической эффективности необходимо учитывать не только скорость перевозки или объем грузов, но и совокупность факторов времени, затрат, надежности, инфраструктуры, мультимодальности, цифровизации и экологической устойчивости.

Влияние транспортной логистики на национальную экономику проявляется через непрерывность производства, устойчивость внутреннего рынка, эффективность экспортно-импортных операций, региональную интеграцию, транзитный потенциал, инвестиции и занятость.

В условиях Узбекистана повышение транспортно-логистической эффективности непосредственно связано с использованием международных коридоров, развитием мультимодальных перевозок, ускорением таможенно-пограничных процедур и внедрением цифровых логистических платформ.

Предложенные функциональная зависимость и система показателей позволяют оценивать транспортную логистику во взаимосвязи с национальными экономическими результатами, выявлять слабые звенья и научно обосновывать управленческие решения.



Использованная литература / References

- [1] Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года № УП-158 «О Стратегии “Узбекистан - 2030”».
- [2] World Bank. Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in an Uncertain Global Economy. Washington, DC: World Bank, 2023.
- [3] World Bank. Logistics Performance Index: Methodology and Indicators. Washington, DC: World Bank, 2023.
- [4] International Transport Forum/OECD. ITF Transport Outlook 2023. Paris: OECD Publishing, 2023.
- [5] Christopher M. Logistics and Supply Chain Management. 5th ed. Harlow: Pearson, 2016.
- [6] Ballou R.H. Business Logistics / Supply Chain Management. 5th ed. Upper Saddle River: Pearson, 2004.
- [7] Button K. Transport Economics. 3rd ed. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2010.

Информация об авторах/ Information about the authors

Камалова Эльвира Абсаттаровна / Elvira Kamalova	Ташкентский государственный экономический университет, доктор философии по экономическим наукам (PhD), доцент E-mail: elvirakamalova@mail.ru Tel.: +998 91 162 84 65 https://orcid.org/0000-0002-5250-4919
Холматов Абдурахимжон Робилжон угли / Abdurakhimjon Kholmatov	Ташкентский государственный транспортный университет, студент кафедры «Транспортная логистика» E-mail: abdurahimxolmatov9@gmail.com Tel.: +998 95 187 77 57



Analysis of the state of bridges exploited in the Republic of Uzbekistan

M.Kh. Miralimov¹^a, K.M. Juraev¹^b, Kh.U. Urazov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article analyzes the condition of bridges in use in the Republic of Uzbekistan and examines their advantages and disadvantages. It also mentions which types of span structures were and are used in bridge construction, as well as their shortcomings. In our country, the majority of reinforced concrete bridges are designed and constructed from precast reinforced concrete span structures with unstressed and prestressed reinforcement, while slabs and ribbed beams manufactured at railway or landfill plants are used for the span structures. Currently, there are more than 14,000 bridges and overpasses in the Republic of Uzbekistan, of which more than 5,000 require repair. The main problems in bridges that require repair are observed in their intermediate structures. That is, regular water leaks from the intermediate structures are observed, resulting in the displacement of protective layers, the opening and corrosion of reinforcement, and in some cases, the beams of the intermediate structure become completely unusable. Therefore, in order to eliminate these shortcomings, a number of scientists are conducting research, studying new modern methods of design and construction, and applying new methods and technologies. New modern bridges are being built in Uzbekistan year after year.

Keywords:

road bridges, overpasses, span structure, prefabricated span structure, reinforced concrete beam, prestressed reinforced concrete, prefabricated reinforced concrete, standard designs, leveling layer, protective layer

O'zbekiston Respublikasida foydalanishda bo'lgan ko'priklar holatining tahlili

Miralimov M.X.¹^a, Jo'rayev K.M.¹^b, O'razov X.U.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada O'zbekistonda Respublikasida foydalanishda bo'lgan ko'priklar holatining tahlili keltirilgan bo'lib undagi yutuq va kamchiliklar o'rganib chiqilgan. Shuningdek, ko'priklar qurilishida oldin va hozir qanday turdagi oraliq qurilmalardan foydalanilganligi va ulardagi kamchiliklar keltirib o'tilgan. Mamlakatimizda temirbeton ko'priklarining asosiy qismi zo'riqtirilmagan va oldindan zo'riqtirilgan armaturali yig'ma uzlukli temirbeton oraliq qurilmalardan loyihalasadi va quriladi, oraliq qurilmalar uchun esa temirbeton ko'priklar konstruksiyalari zavodlarida yoki poligonlarda ishlab chiqilgan plitalar hamda qovurg'ali to'sinlar ishlatiladi. Hozirda O'zbekiston Respublikasida 14 mingdan ortiq ko'priklar va yo'l o'tkazgichlar mavjud bo'lib, ulardan 5 mingdan ortig'i ta'mirlanib ekanligi aniqlangan. Ta'mirlanish holatga kelib qolgan ko'priklardagi asosiy muammolar ularning oraliq qurilmalarida kuzatilmoqda. Ya'ni oraliq qurilmalardan muntazam ravishda suv sizib o'tishi, buning natijasida himoya qatlamlari ko'chishi, armaturalar ochilib qolib korroziyaga uchrashi bazi holatlarda esa oraliq qurilma to'sinlari butkul yaroqsiz holatga kelib qolganligi kuzatilmoqda. Shuning uchun ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida bir qancha olimlar izlanishlar olib bormoqda, loyihalash va qurishning yangi zamonaviy usullari o'rganilib, yangi metod va texnologiyalar qo'llanilmoqda. Yildan yilga O'zbekistonda yangi zamonaviy ko'priklar barpo etilmoqda.

Kalit so'zlar:

avtoyo'l ko'priklari, yo'l o'tkazgichlar, oraliq qurilma, yig'ma oraliq qurilma, temirbeton to'sin, oldindan zo'riqtirilgan temirbeton, yig'ma temirbeton, namunaviy loyihalar, tekislovchi qatlam, himoya qatlami

1. Kirish

Bugungi kunda 2024-2026 yillar uchun O'zbekiston Respublikasining ijtimoiy va ishlab chiqarish infratuzilmasini rivojlantirish dasturini shakllantirish doirasida umumiy foydalanishdagi avtomobil yo'llari, ko'priklar va sun'iy inshootlarni qurish, rekonstruksiya qilish ishlari amalga oshirilmoqda. Bunda avtotransport

vositalarining xavfsiz harakatlanishini ta'minlash hamda belgilangan og'irlik va gabarit me'yorlariga qo'yilgan talablarni yanada kuchaytirish, respublikadagi barcha toifadagi avtomobil yo'llari, ko'priklar va yo'l o'tkazgichlarning xizmat ko'rsatish muddatini uzaytirish, ularni saqlash xarajatlarini qisqartirish maqsadli deb qaralmoqda [1, 2].

^a <https://orcid.org/0000-0003-2530-5516>

^b <https://orcid.org/0000-0002-0883-7257>

^c <https://orcid.org/0000-0003-3594-5170>



O'zbekiston Respublikasi hukumati tomonidan "O'zbekiston Respublikasining 2030-yilgacha bo'lgan davrda transport strategiyasi" tasdiqlangan. Ushbu strategiyada umumiy foydalanishdagi avtomobil yo'llari tarmog'ini uzunligini 1,5-2 baravarga oshirish ko'zda tutilgan. Shuningdek, 2016-2030 yillarda 7 ming km dan ortiq pullik avtomobil yo'llarini qurish va rekonstruksiya qilish ham rejaga kiritilgan [3].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Bugungi kunda O'zbekistondagi avtomobil yo'llarining umumiy uzunligi 183 ming kilometrdan oshadi, shundan 42,6 ming kilometrdan ortig'i umumiy foydalanishdagi yo'llar hissasiga to'g'ri keladi. Shuningdek, konstruktiv yechimlari, loyihalash me'yorlari va qurilish texnologiyasi bilan bir-biridan farq qiluvchi hamda turli, jumladan, murakkab iqlim sharoitlarida foydalanilayotgan 14 mingdan ortiq sun'iy inshootlar barpo etilgan. Ulardan 7 mingdan ortig'ini ekspluatatsiya qilinuvchi ko'priklari inshootlar tashkil etadi, shundan 93 foizini temirbeton, taxminan 7 foizini esa metall ko'priklar va yo'l o'tkazgichlar tashkil etadi [4-6].

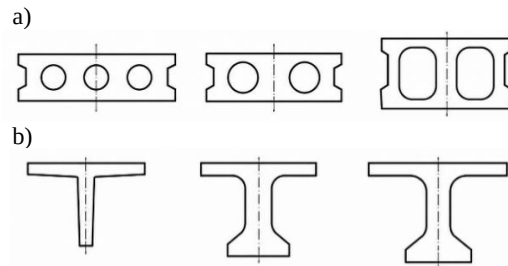
So'nggi paytlarda sun'iy inshootlar bo'ylab avtomobil transporti harakati xavfsizligini ta'minlashga oid talablar sezilarli darajada oshirildi. Bu harakat tezligi va jadalligining o'sishi, shuningdek, ko'priklarga tushadigan vaqtinchalik harakatdagi yuklarning ortishi bilan bog'liqdir.

Mamlakatimizda temirbeton ko'priklarining asosiy qismi zo'riqtirilmagan va oldindan zo'riqtirilgan armaturali yig'ma uzlukli temirbeton oraliq qurilmalardan loyihalasadi va quriladi, oraliq qurilmalar uchun esa temirbeton ko'priklari konstruksiyalari zavodlarida yoki poligonlarda ishlab chiqilgan plitalar hamda qovurg'ali to'sinlar ishlatiladi (1-rasm) [7-10]. Oraliq qurilmalarning g'ovakli plitalari bir-biriga parallel holda yotqizilgan, uzunligi 6, 9, 12, 15 va 18 m plita elementlaridan iborat [8], ular ko'ndalang yo'nalishda yaxlit beton shponkalar bilan tutashiriladi (1-rasm, a).

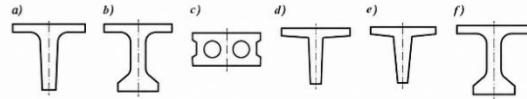
1955-yildan 2012-yilgacha bo'lgan davrda O'zbekistonning ko'priklari inshootlarini qurishda asosan o'sha davrlar namunaviy loyihalari asosida yaratilgan yig'ma temir-beton oraliq qurilmalar, plita va to'sinlarning 2-rasmda ko'rsatilgan xarakterli ko'ndalang kesim turlaridan foydalanilgan [7-11].

1988-yilda umumiy foydalanishdagi avtomobil yo'llari, ko'chalar va shahar yo'llarida joylashgan ko'priklar va yo'l o'tkazgichlar uchun armaturasi oldindan zo'riqtirilgan ikkitavr kesimli to'sinlardan iborat 12, 15, 18, 21, 24 va 33 m uzunlikdagi yig'ma temirbeton oraliq qurilmalarning 3.503.1-81 seriyali namunaviy loyihasi tasdiqlandi. Unga ko'ra to'sinlarning ko'ndalang yo'nalishdagi qadami oraliq qurilmaning kengligi va qatnov qismining gabaritiga qarab 2,1 m dan 2,4 m gacha o'zgaradi [3, 12].

Bu loyiha Sovet Ittifoqida Transport Qurilishi Vazirligi tomonidan rasman tasdiqlangan ohirgi loyiha edi. Loyiha keng ko'lamda tarqaldi. Bosh to'sinlar bloklarining qolip shakli murakkabligiga qaramay, bu to'sinlar butun mamlakat bo'ylab shu darajada tarqaldiki, nafaqat barcha ko'priklari temirbeton konstruksiyalari zavodlarida, balki ko'priklari konstruksiyalarini ishlab chiqarishga ixtisoslashmagan boshqa ko'plab temirbeton konstruksiyalari zavodlari tomonidan ham ishlab chiqarildi va sotildi [3].



1-rasm Bugungi kunda ko'priklar qurilishi amaliyotida ishlatiluvchi yig'ma temirbeton g'ovakli plitalar (a) va qovurg'ali temirbeton to'sinlar (b)



2-rasm. Avtomobil yo'llari ko'priklari temirbeton oraliq qurilmalarining asosiy to'sinlari ko'ndalang kesimlarining konstruktiv shakllari: a) seriya 3.503 14 inv. №710/1, inv.№710/5 va inv. №710/7; b) seriya 3.503-12 inv. №384/46; c) seriya 3.503.1-108 inv. №1351; d) 56-nashr inv. №147/1; e) 56 (d) -son inv. №147/2 va seriya 3.503.1-73; f) seriya 3.503.1-81 inv. №1318)

Hozirgi vaqtda O'zbekiston ko'priksizligida loyihalash va qurishning yangi zamonaviy usullari o'rganilib, yangi metod va texnologiyalar qo'llanilmoqda, namunaviy loyihalash va qurish tamoyillaridan bosqichma-bosqich voz kechilmoqda. Masalan monolit qurilish usuli ma'lum va noan'anaviy usullardan biri hisoblanadi. Ushbu usuldan foydalanish dunyoning yirik shaharlaridagi noyob ob'ektlar qurilishida keng tarqalgan. Buning samarasida yo'l infratuzilmasi ob'ektlari, transport inshootlari, jumladan, ko'priklar, yo'l o'tkazgichlar va metropolitenlar qurilishi zamon talablariga mos ravishda rivojlanmoqda. Sergeli va Yakkasaroy tumanlarini bog'laydigan, ikki bosqichda amalga oshirilgan yo'l loyihasini bunga misol qilib keltirish mumkin. Birinchi bosqichda Cho'ponota ko'chasidan Toshkent halqa avtomobil yo'ligacha bo'lgan ikki kilometrlik yo'l qurildi. Kichik halqa avtomobil yo'li ustidan uzunligi 788 metr bo'lgan ko'priklari, Toshkent halqa avtomobil yo'li (THAY) bilan kesishgan joyda esa uzunligi 207 metr bo'lgan ikkita yo'l o'tkazgich barpo etildi (3-rasm).

Bundan tashqari, qadimiy va yirik shahar Samarqandning yo'l-transport infratuzilmasini rivojlantirish hamda takomillashtirish maqsadida ko'priklar va yo'l o'tkazgichlarni qurishning monolit usulidan foydalanish yo'lga qo'yildi. Samarqand shahri hududidan o'tuvchi M-39 avtomobil yo'lining 1083-kilometrda bunyod etilgan yangi yo'l o'tkazgich bunga yorqin misol bo'la oladi. Yuqoridagilardan kelib chiqib, monolit temir-beton ko'priklar va yo'l o'tkazgichlarning texnik yechimlarini (loyihalash va hisoblash) ishlab chiqish dolzarb masala ekanini ta'kidlash lozim. Bu esa, o'z navbatida, O'zbekiston Respublikasi ko'priksizlik sohasining rivojlanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

ShNQ 2.05.03-22 "Ko'priklar va quvurlar" shaharsozlik normalari va qoidalariga ko'ra ko'priklar har 5 yilda diagnostikadan o'tkazilib turilishi kerak. Foydalanilayotgan ko'priklarni tekshirishning asosiy vazifasi ularning texnik holatini baholash va belgilangan talablarga muvofiqligini tekshirishdan iborat. Bir qator olimlarning [6, 11]

ma'lumotlari asosida ko'prik inshootlarining texnik holatini tahlil qilib, shuni ta'kidlash mumkinki, 2022-yil xolatiga ko'ra Respublikamizdagi ko'priklarning 52,7 foizi qoniqarli ahvolda, 40,9 foizi ta'mirlalab, 6,4 foizi esa foydalanishga yaroqsiz ya'ni avariya holatida.



3-rasm. Toshkent shahridagi Yakkasaroy va Sergeli tumanlarini bog'lovchi yangi zamonaviy monolit ko'priqli inshootlardan qurilgan transport kesishmalari

Ko'prik inshootlarining ishonchligiga qo'yiladigan yuqori talablar O'zbekiston Respublikasi hududida ham, uning tashqarisida ham qurilishdagi zamonaviy tendensiyalar bilan bog'liq. Inshoot xavfsizligi uning konstruksiyalarining favqulodda vaziyatlarda ishlay olish qobiliyatiga bevosita bog'liq. Ko'priklarning maksimal yuklamalarda mustahkamlik va barqarorlikni saqlay olishi ulardan keyingi foydalanish jarayonida ijobiy iqtisodiy samara beradi.

O'tkazilgan diagnostika ishlari natijalarining tahlili shuni ko'rsatdiki, deformatsion choklarning nosozligi va yo'l o'tkazgichning qatnov qismidan suvning yaxshi ketmasligi tufayli uzoq vaqt davomida quyi konstruksiyalarda namlanish yuz bergan, bu esa ko'prik osti konstruksiyalarining shikastlanishiga sabab bo'lgan.

I.Ya. Bogdanov, V.A. Rudskix, shuningdek, I.E. Xarikning maqolalarida ko'prik inshootlarining avariya holatlari va nosozliklari ro'yxati keltirilgan, inshootlarning ekspluatatsion sifatlarini yo'qotishiga olib keluvchi ta'sirlarning sabablari va xususiyatlari tahlil qilingan. Inshootlar ayrim elementlarining ishdan chiqishi o'rtasidagi sabab-oqibat bog'liqligi aniqlangan (1-jadval). Hozirgi vaqtda qo'llanilayotgan avariya holatlarini baholash uslublari ko'rib chiqilgan. Inshootlarning ekspluatatsion ishonchligi va uzoq muddatli xizmat qilish darajasini ta'minlashga doir vazifalarni hal etish yo'nalishlari belgilangan.

1-jadval

Inshootlar ayrim elementlarining ishdan chiqishi o'rtasidagi sabab-oqibat bog'liqligi

Belgilanishi	Sabab	Tavsifi
Asosiy (yo'l qo'yuvchi) sabablar		
E1	Loyihalashdagi xatolar	Hisobiy va prinsipial xatolar, konfiguratsiyani noto'g'ri tanlash, konstruksiyadagi kamchiliklar

E2	Tayyorlashdagi xatolar	Ruxsat etilgan cheklanishlardan oshish, loyiha konsepsiyasidan chetga chiqish, texnologiyani buzish
E3	Qurilish-montaj ishlaridagi xatolar	Montaj sifatining pastligi, noto'g'ri o'rnatish, ishlarni bajarish texnologiyasining buzilishi
E4	Ekspluatatsiyadagi xatolar	Inshoot holatiga texnik xizmat ko'rsatish va uning monitoringi yo'qligi yoki sifati pastligi
E5	Materiallarning xossalari	Materiallar xossalari loyiha talablariga nomuvofiqligi
Turtki beruvchi sabablar		
T1	Tabiiy ta'sirlar	Suv toshqini, sel, qirg'oqning yuvilishi, dovul, daraxt oqizib kelishi, muz oqimi, shamol, zilzila
T2	Zarbali ta'sir	Yo'l-transport hodisasi, poyezdlar ishtirokidagi avariylar, kemalarning urilishi
T3	Yo'l qo'yiladigan yuklamadan oshish	Og'ir vaznli transportning o'tishi; yo'l qoplamasining yo'l qo'yiladigan og'irligidan oshishi
T4	Materiallar degradatsiyasi	Toliqish deformatsiyalari, metall va beton korroziyasi

3. Xulosa

Bugungi kunga kelib O'zbekiston Respublikasi avtomobil yo'llarida 7 mingdan ortiq ko'prik va yo'l o'tkazgichlar transport infratuzilmasi uchun xizmat qilib kelmoqda. 2022-yil holatiga ko'ra ularning 52,7 foizigina qoniqarli ahvolda. Qolgan qismi esa yoki ta'mirlalab holatda yoki butkul qayta qurish holatida. Tadqiqot natijalariga ko'ra ushbu ko'prik va yo'l o'tkazgichlarning texnik jihatdan qoniqarsiz holatga kelib qolganligining asosiy sabablaridan biri ularning ko'p qismi 1960-70 yillarda qurilganligi va o'z xizmat muddatni o'tab bo'lganligi bo'lsa yana bir asosiy sabablardan biri bu loyihalash va qurilish bosqichida ayrim xato va kamchiliklarga yo'l qo'yilganligidir.

Hozirgi kunga qadar O'zbekiston sharoitida Sobiq Sovet Ittifoqi davrida ishlab chiqilgan namunaviy loyihalarga tayanilgan holda avtoyo'l ko'priklari qurilishi bajarilmoqda. Ushbu loyihalarga ko'ra oraliq qurilmalardagi to'sinlar o'zaro monolit choklar bilan birlashtiriladi. Ko'p yillik tahlil va o'rganishlarga ko'ra vaqt o'tishi bilan ushbu monolit choklarda darzlar, yoriqlar kabi turli xil nuqsonlar paydo bo'lmoqda. Xulosa qilib aytish mumkinki, avtoyo'l ko'priklari qurilishida va foydalanishida inshootlarning chidamliligini ta'minlashga imkon beruvchi konstruktiv yangi yechim topish muqobil variant hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarori. «Yo'l xo'jaligi sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» 2023 yil 10 oktyabrdagi PQ-330-son.



[2] O'zbekiston Respublikasi Avtomobil yo'llari qo'mitasi huzuridagi jamoatchilik kengashi yig'ilish BAYONI. 20 oktyabr, 2023 y.

[3] Miralimov, M., & Jo'rayev, Q. (2025). Avtoyo'l ko'priklari va yo'lo'tkazgichlarining yangi turdagi yig'mayaxlit oraliq qurilmalari konstruksiyalari. Journal of Transport, 2(2), 142-146.

[4] Саатова Н. З. Ишанходжаев А. А. Остаточный ресурс железобетонных конструкция пролетных строений автодорожных мостов, подверженных солевой коррозии // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2017. № 4. С.61–64.

[5] Mengliev I. A. Avtoyo'l ko'priklari inshootlarining temirbeton qovurg'ali oraliq qurilmalarini transport yuklari ta'siriga hisoblash usullarini takomillashtirish. PhD dissertatsiya avtoroferati. 2024. 35 b.

[6] Валиев Ш. Н., Ахмаджанов, Овчинников И. Г. Вопросы проектирования, строительства и эксплуатации железобетонных мостовых сооружений в условиях сухого жаркого климата Республики Узбекистан. Russian Journal of Transport Engineering. 2023, Vol. 10, Iss. 4. С.1–14.

[7] Смердов Д. И. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композитными материалами. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. Новосибирск, 2010, 159 с.

[8] Серия ТП 3.503.1-12. UZ. Выпуск 16 "И" пролетные строения из пустотных плит длиной от 6 до 18 м армированные стержневой арматурой класса А-IV и А-V. Ташкент, 2012

[9] Серия ТП 3.503.1-81 Пролетные строения сборные железобетонные длиной 12, 15, 18, 21, 24 и 33 м из балок двутаврового сечения с предварительно напрягаемой арматурой для мостов и путепроводов, расположенных на автомобильных дорогах общего пользования, на улицах и дорогах в городах. Союздорпроект Минтрансстроя, 1988

[10] Серия ТП 3.503.1-81. UZ Пролетные строения сборные железобетонные длиной 21, 24 и 33 м из балок двутаврового сечения с предварительно напрягаемой

арматурой для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах, Выпуск 0-1 "Д", Ташкент, 2012

[11] Ганиев И. Г. Эксплуатационное состояние железобетонных мостов под эксплуатационными нагрузками / И.Г. Ганиев // The scientific journal vehicles and roads. 2022. Т 2. № 2. С. 108 -124.

[12] Э.С. Карапетов. «Проблемы долговечности железобетонных мостов» Сборник трудов 125 лет в мостостроении. Санкт-Петербург: ПГУПС, 2008. ISBN 978-5-7641-0195-8.

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

Miralimov Mirzaxid Xamitovich / Mirzakhid Miralimov	Toshkent davlat transport universiteti "Avtomobil yo'llaridagi inshootlar muhandisligi" kafedrasida professori, t.f.d., (DsC). Tel.: +998 97 725 09 24 https://orcid.org/0000-0003-2530-5516
Jo'rayev Qaxramon Maxmudjon o'g'li / Kakhramon Juraev	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida tayanch doktoranti, assistent E-mail: jurayev_qm@mail.ru Tel.: +998 95 444 59 00 https://orcid.org/0000-0002-0883-7257
O'razov Xumoyun O'tkir o'g'li / Khumayun Urazov	Toshkent davlat transport universiteti "Ko'priklar va tonnellar" kafedrasida assistenti Tel.: +998 94 343 90 26 https://orcid.org/0000-0003-3594-5170



The importance of foreign experience in the development of the metro transport system and recommendations for Uzbekistan

S.T. Norkulov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the development of the Tashkent metropolitan transport system based on advanced foreign experience. Effective models of urban transport infrastructure management are studied using the examples of London, Paris, and Tokyo metropolitan systems. The article develops scientifically grounded recommendations for modernizing the metropolitan system in Uzbekistan and ensuring its integration with other public transport modes. The research results include a set of practical measures aimed at improving the economic, environmental, and social efficiency of the metropolitan system.

Keywords: metropolitan, public transport, transport integration, digitalization, ecological efficiency, public-private partnership, tariff policy, Tashkent

Metropolitan transport tizimini rivojlantirishda xorijiy tajribaning ahamiyati va O'zbekiston uchun tavsiyalar

Norkulov S.T.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada Toshkent shahrining metropolitan transport tizimini rivojlantirish masalalari xorijiy ilg'or tajribalar asosida tahlil qilinadi. London, Parij va Tokio metropolitan tizimlari misolida shahar transport infratuzilmasini boshqarishning samarali modellari o'rganiladi. Maqolada O'zbekiston sharoitida metropolitan tizimini modernizatsiya qilish va uning boshqa jamoat transport turlari bilan integratsiyasini ta'minlash bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari metropolitan tizimining iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan amaliy chora-tadbirlar majmuasini o'z ichiga oladi.

Kalit so'zlar: metropolitan, jamoat transporti, transport integratsiyasi, raqamlashtirish, ekologik samaradorlik, davlat-xususiy sheriklik, tarif siyosati, Toshkent

1. Kirish

Zamonaviy shaharlarning barqaror rivojlanishi ko'p jihatdan samarali metropolitan transport tizimining mavjudligiga bog'liq. Dunyo tajribasi shuni ko'rsatadiki, transport infratuzilmasining rivojlanganligi nafaqat aholining harakatchanligini ta'minlaydi, balki shahar iqtisodiyotining o'sishiga, ish joylarining ko'payishiga va investitsiyalar jalb etilishiga muhim hissa qo'shadi [1]. Shu bilan birga, zamonaviy metropolitan tizimlari ekologik barqarorlikni ta'minlashda ham muhim vosita sifatida qaralmoqda.

O'zbekiston, xususan Toshkent shahri uchun metropolitan tizimini rivojlantirish masalasi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Toshkent shahri aholisining tez sur'atlarda o'sishi, urbanizatsiya jarayonlari va iqtisodiy rivojlanish talablari zamonaviy, raqobatbardosh va samarali metropolitan transport tizimini shakllantirish zaruriyatini keltirib chiqarmoqda [2]. Mavjud muammolarni hal etishda xorijiy rivojlangan mamlakatlar tajribasini o'rganish va uni mahalliy sharoitga moslashtirish muhim metodologik ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqotning maqsadi – rivojlangan mamlakatlar metropolitan transport tizimlari tajribasini qiyosiy tahlil qilish asosida O'zbekiston metropolitan tizimini modernizatsiya qilishning ilmiy asoslangan yo'nalishlarini belgilashdan iborat.

ADABIYOTLAR SHARHI

Metropolitan transport tizimlari va ularning iqtisodiy rivojlanishga ta'siri masalasi ko'plab xorijiy va mahalliy tadqiqotchilar tomonidan o'rganilgan. Cervero va Murakami (2009) o'tkazgan keng qamrovli tadqiqotlar transport infratuzilmasi va yer qiymatining o'zaro bog'liqligi mavjudligini ko'rsatadi [3]. Ular metropolitan tizimining kengayishi yer narxlarini, ayniqsa metro bekatlariga yaqin hududlarda sezilarli darajada oshirishini tasdiqladilar.

Banister va Berechman (2001) transport investitsiyalari va iqtisodiy o'sish o'rtasidagi munosabatlarni tahlil qilib, metropolitan tizimiga qilingan investitsiyalarning iqtisodiy ko'paytkich effektini aniqlashdi [4]. Ularning xulosalariga ko'ra, shahar ichki yalpi mahsulotining o'sishida transport investitsiyalari muhim omil bo'lib xizmat qiladi. Shuningdek, Litman (2020) jamoat transportining ijtimoiy va ekologik afzalliklarini keng qamrovli tarzda tahlil qilib, metropolitan tizimlari CO₂ chiqindilarini kamaytirish va energiya tejashda tutgan o'rnini asoslab berdi [5].

Mahalliy tadqiqotchilar orasida Toshkent metropoliteni masalalari bo'yicha bir qator ishlar amalga oshirilgan bo'lsa-da, xorijiy tajribani qiyosiy tahlil qilish va zamonaviy raqamlashtirish texnologiyalarini joriy etish masalalariga oid tadqiqotlar yetarli emas. Ushbu bo'shliqni bartaraf etish maqolaning ilmiy yangiligini tashkil etadi.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv va umumlashtirish metodlari qo'llanildi. London, Parij va Tokio metropoliten tizimlari asosiy taqqoslash ob'ekti sifatida tanlandi – bu shaharlar o'zlarining transport tizimi samaradorligi bo'yicha dunyo reytinglarida yetakchi o'rinlarni egallaydi va O'zbekiston uchun amaliy ahamiyatga ega tajribaga ega.

Tahlil quyidagi ko'rsatkichlar asosida amalga oshirildi: transport tizimining boshqaruv modeli, tarif siyosati, ekologik samaradorlik, raqamlashtirish darajasi, davlat-xususiy sheriklik shakllari va aholini qamrash ko'rsatkichlari. Shuningdek, O'zbekiston metropoliten tizimini rivojlantirish bo'yicha rasmiy hujjatlar va konsepsiyalar tahlil qilindi.

3. Natija va muhokamalar

London Transport for London (TfL) tizimi tajribasi.

London metropoliteni XIX asrning ikkinchi yarmidan boshlab shahar transportining asosiy tarkibiy qismiga aylangan va bugungi kunda Transport for London (TfL) nomi ostida faoliyat ko'rsatuvchi yirik integratsiyalashgan tizimga transformatsiya qilingan. TfL nafaqat metropoliteni, balki avtobus, tramvay va yengil metro tizimlari kabi turli transport turlarini birlashtirgan holda yagona boshqaruv ostida samarali xizmat ko'rsatmoqda [6].

London tajribasining O'zbekiston uchun amaliy ahamiyati quyidagilarda namoyon bo'ladi.

Birinchidan, transport turlarining integratsiyasi yagona chipta tizimi orqali yo'lovchilar uchun maksimal qulaylik yaratadi.

Ikkinchidan, ekologik toza texnologiyalar – elektr haydovchi transport vositalari va energiya tejovchi tizimlar joriy etilishi transport sektori uglerod izini sezilarli kamaytirdi.

Uchinchidan, shahar iqtisodiyotiga metropoliten tizimining ta'siri investitsiyalar jalb etilishi va yangi ish o'rinlari yaratilishi orqali isbotlangan [7].

Parij metropoliteni va RER tizimi. Parijdagi Réseau Express Régional (RER) tizimi – shahar ichki metropolitenini shahar atrofi hududlari bilan bog'lovchi mintaqaviy tez harakatlanuvchi temir yo'l tarmog'i – shahar transporti integratsiyasining namunali modeli sifatida tan olingan. Bu tizim nafaqat shahar markazini, balki qo'shni viloyatlar va aeroportlarni ham qamrab oladi, bu esa Parij metropoliten agglomeratsiyasining iqtisodiy aloqadorligini mustahkamlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi [8].

Parij tajribasining muhim jihati – transport tizimining ijtimoiy tenglikni ta'minlashdagi roli. Markaziy va chekka tumanlar o'rtasidagi transport aloqalari aholining barcha qatlamlari uchun teng fursatlar yaratadi. O'zbekiston uchun bu tajriba Toshkent va unga tutash hududlar o'rtasidagi transport aloqalarini rivojlantirish, shuningdek yangi tumanlar va sanoat zonalarini metropoliten tarmog'iga ulashda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Tokio metropolitenining texnologik innovatsiyalari. Tokio metropoliteni dunyo standartlari bo'yicha eng katta va eng samarali tizimlardan biri hisoblanadi. Uning o'ziga xos xususiyatlari quyidagilardan iborat: yuqori aniqlikdagi jadval (o'rtacha kechikish 1 daqiqadan kam), real vaqt rejimida yo'lovchilar oqimini boshqarish, raqamli chip-kartalar orqali to'lov tizimi va sun'iy intellekt asosida ishlovchi diagnostika tizimlari [9].

Tokio tajribasining muhim jihati – davlat va xususiy sektor hamkorligining (PPP modeli) muvaffaqiyatli qo'llanilishi. Xususiy operatorlar aniq belgilangan standartlar va nazorat mexanizmlari asosida metro liniyalarini boshqaradi, bu esa moliyaviy samaradorlikni oshiradi va davlat byudjetiga tushadigan yukni kamaytiradi. Bunday yondashuv O'zbekiston uchun alohida qiziqish uyg'otadi, chunki u metropoliten tizimini moliyaviy barqaror asosda rivojlantirish imkonini beradi [10].

O'ZBEKISTON METROPOLITEN TIZIMINI RIVOJLANTIRISH BO'YICHA TAVSIYALAR

Yuqorida ko'rib chiqilgan xorijiy tajribalar tahlili asosida O'zbekiston metropoliten tizimini rivojlantirish uchun quyidagi strategik yo'nalishlar taklif etiladi:

1. Transport turlarini integratsiyalash. London TfL modeli asosida metropoliten, avtobus, trolleybus va elektr transport turlarini yagona boshqaruv tizimi ostida birlashtirish, yagona elektron chipta tizimini joriy etish zarur. Bu yo'lovchilar uchun uzluksiz sayohat imkonini yaratadi va transport tizimining umumiy samaradorligini oshiradi.

2. Raqamlashtirish va intellektual boshqaruv tizimlarini joriy etish. Tokio tajribasiga tayanib, real vaqt rejimida yo'lovchilar oqimini kuzatish, sun'iy intellekt asosidagi jadval optimallashtirish va mobil ilovalar orqali yo'lovchilarga axborot berish tizimlarini ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

3. Ekologik samaradorlikni oshirish. Parij va London tajribasida bo'lgani kabi, energiya tejovchi texnologiyalar, regenerativ tormozlash tizimlari va qayta tiklanuvchi energiya manbalari (quyosh panellari) metropoliten infratuzilmasiga tatbiq etilishi kerak.

4. Davlat-xususiy sheriklik (PPP) modelini kengaytirish. Tokio modeli asosida xususiy investorlarni metropoliten liniyalarini boshqarishga jalb etish, ularga aniq standartlar va imtiyozli shartlar asosida konsessiya shartnomalarini taqdim etish moliyaviy barqarorlikni ta'minlaydi.

5. Muvozanatli tarif siyosatini shakllantirish. Tarif darajasi yo'lovchilar xarid qobiliyati va metropoliten operatsion xarajatlarini qoplash zaruriyati o'rtasida muvozanatni ta'minlashi, shu bilan birga ijtimoiy himoyaga muhtoj toifalar uchun imtiyozli chiptalar tizimi saqlanib qolinishi lozim.

6. Harakatlanuvchi tarkibni yangilash va kengaytirish. Zamonaviy, yuqori sig'imli va energiya tejovchi vagonlar parkini bosqichma-bosqich yangilash, shu bilan birga yangi metro liniyalarini qurib, shahardagi qamrov geografiyasini kengaytirish zarur.

4. Xulosa

Amalga oshirilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, samarali metropoliten transport tizimi faqat yo'lovchilarni tashish vositasi emas, balki shahar iqtisodiyotini rivojlantirishning strategik omili sifatida amal qiladi. London, Parij va Tokio tajribalari metropoliten tizimini boshqarishning turli, ammo o'zaro to'ldiruvchi modellarini namoyish etadi: Londonda integratsiyalashgan multimodal boshqaruv, Parijda mintaqaviy bog'lanish va ijtimoiy tenglik, Tokioda esa texnologik innovatsiyalar va PPP mexanizmlari.

O'zbekiston uchun ushbu tajribalarning eng maqbul jihatlarini tahlil qilib, ularga mahalliy ijtimoiy-iqtisodiy sharoitni inobatga olgan holda moslashtirilgan yondashuv talab etiladi. Taklif etilgan strategik yo'nalishlar – transport



integratsiyasi, raqamlashtirish, ekologik samaradorlik, PPP va muvozanatli tarif siyosati – Toshkent metropoliten tizimining raqobatbardoshligini oshirish va aholining transport xizmatlariga bo'lgan talablarini to'liq qondirishga xizmat qiladi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun Toshkent metropolitenining iqtisodiy samarasini miqdoriy baholash, jumladan metro yo'nalishlari bo'yidagi yer qiymatining o'zgarishi va shahar iqtisodiyotiga ko'paytiruvchi ta'sirini empirik o'rganish dolzarb yo'nalish sifatida belgilanishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Rodrigue, J.P., Comtois, C., Slack, B. (2020). The Geography of Transport Systems. 5th Edition. Routledge, New York. 456 p.

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi «Toshkent shahar jamoat transportini rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi Farmoni. O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari to'plami.

[3] Cervero, R., Murakami, J. (2009). Rail and Property Development in Hong Kong: Experiences and Extensions. Urban Studies, 46(10), 2019–2043.

[4] Banister, D., Berechman, J. (2001). Transport investment and the promotion of economic growth. Journal of Transport Geography, 9(3), 209–218.

[5] Litman, T. (2020). Evaluating Public Transportation Health Benefits. Victoria Transport Policy Institute, Victoria. 32 p.

[6] Transport for London. (2023). Annual Report and Statement of Accounts 2022/23. TfL Corporate Archives, London. 184 p.

[7] Greater London Authority. (2022). Economic Evidence Base for London 2022. GLA Economics, London. 312 p.

[8] Île-de-France Mobilités. (2023). Rapport d'activité 2022. IDFM Press, Paris. 96 p.

[9] Tokyo Metro Co., Ltd. (2023). Annual Report 2023: Safety and Service Quality. Tokyo Metro Publications, Tokyo. 72 p.

[10] Mizutani, F., Uranishi, S. (2013). Does vertical separation reduce cost? An empirical analysis of the rail industry in European and East Asian OECD countries. Journal of Regulatory Economics, 43(3), 31–59.

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

Norkulov S.T. /
S.T. Norkulov

O'zbekiston Respublikasi
Transport vazirligi huzuridagi
“Toshkent Metropoliteni” DUK
boshlig'ining ilmiy-innovatsion
rivojlantirish masalalari bo'yicha
o'rinbosari — Toshkent davlat
transport universiteti prorektori,
iqtisodiyot fanlari doktori (DSc),
professor v.b.
E-mail: rektorat@tstu.uz



Fractal geometry and patterns modeling methods

Sh.A. Anarova¹, N.T. Khujakulov² 

¹Tashkent university of information technologies, Tashkent, Uzbekistan

²Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan

Abstract:

The concept of fractal geometry was developed in the second half of the 20th century by the mathematician B. Mandelbrot, and it began to be used to mathematically describe complex structures found in nature. Later, fractal geometry began to be widely used not only in the study of natural processes, but also in the fields of computer graphics, architecture, design and art. Fractal algorithms are especially effective tools for modeling complex geometric ornaments. The structure of geometric patterns in Islamic architecture is often formed on the basis of repeating elements and multi-stage compositions. Such ornaments have similar structures, which are consistent with the main properties of fractal geometry. Therefore, using fractal models, it is possible to analyze in more depth the mathematical structure, symmetry laws and compositional structure of geometric patterns.

Keywords:

ornament, composition, iteration, Box-counting, Golden ratio, Attarina, L-systems, IFS, Recursive operator, Sierpinski triangle, pseudo-code

Fraktal geometriya va naqshlarni modellashtirish usullari

Anarova Sh.A.¹, Xujakulov N.T.² 

¹Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya:

Fraktal geometriya tushunchasi XX asrning ikkinchi yarmida matematik B. Mandelbrot tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, u tabiatda uchraydigan murakkab strukturalarni matematik jihatdan tavsiflash uchun qo'llanila boshlagan. Keyinchalik fraktal geometriya nafaqat tabiiy jarayonlarni o'rganishda, balki kompyuter grafikasi, arxitektura, dizayn va san'at sohalarida ham keng qo'llanila boshladi. Ayniqsa, murakkab geometrik ornamentlarni modellashtirishda fraktal algoritmlar samarali vosita hisoblanadi. Islom me'morchiligidagi geometrik naqshlarning tuzilishi ko'pincha takrorlanuvchi elementlar va ko'p bosqichli kompozitsiyalar asosida shakllanadi. Bunday ornamentlarda o'ziga o'xshash strukturalar mavjud bo'lib, ular fraktal geometriyaning asosiy xususiyatlari bilan uyg'unlashadi. Shu sababli fraktal modellar yordamida geometrik naqshlarning matematik strukturasi, simmetriya qonuniyatlari va kompozitsion tuzilishini chuqurroq tahlil qilish mumkin.

Kalit so'zlar:

ornament, kompozitsion, iteratsion, Box-counting, Oltin nisbat, Attarina, L-tizimlar, IFS, Rekursiv operator, Sierpinski uchburchagi, pseudo-kod

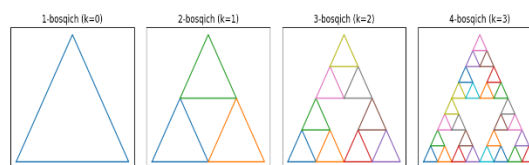
1. Kirish

Fraktal geometriya murakkab va tartibsiz geometrik strukturalarni matematik jihatdan tavsiflash uchun ishlab chiqilgan zamonaviy matematik nazariya hisoblanadi. An'anaviy Evklid geometriyasida asosiy e'tibor oddiy geometrik shakllar — chiziqlar, aylana, ko'pburchaklar va sirtlarga qaratilgan bo'lsa, fraktal geometriya o'ziga o'xshash, ko'p darajali va iteratsion strukturalarga ega bo'lgan shakllarni o'rganishga qaratilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Fraktal strukturalarning asosiy xususiyatlaridan biri o'ziga o'xshashlik (self-similarity) hisoblanadi. O'ziga o'xshashlik shuni anglatadiki, geometrik strukturaning ayrim qismlari butun shaklning kichik nusxasi sifatida namoyon bo'ladi (1-rasm). Bu xususiyat ko'p darajali takrorlanish jarayoni orqali yuzaga keladi. Masalan, daraxt

shoxlarining tuzilishi yoki qor parchalarining geometrik shakllari o'ziga o'xshash strukturalarga ega.



1-rasm. O'ziga o'xshash fraktal struktura modeli

Mazkur rasmda fraktal strukturaning hosil bo'lish jarayoni iteratsion bosqichlar orqali tasvirlangan. Model sifatida Sierpinski uchburchagi tanlangan bo'lib, u fraktal geometriyaning klassik namunasi hisoblanadi.

1-bosqich ($k=0$) — Boshlang'ich shakl

Muntazam uchburchak boshlang'ich geometrik obyekt sifatida olinadi. Bu fraktal generatsiya algoritmining asosiy bazasi hisoblanadi.

2-bosqich ($k=1$) — Birinchi iteratsiya

Uchburchak uchta kichik uchburchakka bo'linadi va markaziy qismi chiqarib tashlanadi. Natijada uchta o'zaro bog'langan kichik uchburchak hosil bo'ladi.

3-bosqich ($k=2$) — Ikkinchi iteratsiya

Oldingi bosqichda hosil bo'lgan har bir kichik uchburchakka xuddi shu amal qo'llanadi. Bu bosqichda struktura yanada murakkablashadi va o'ziga o'xshashlik aniqroq namoyon bo'ladi.

4-bosqich ($k=3$) — Fraktal struktura

Iteratsiya jarayonining davom etishi natijasida murakkab, ko'p darajali va o'ziga o'xshash geometrik struktura hosil bo'ladi. Ushbu struktura fraktal geometriyaning asosiy xususiyatlarini aks ettiradi.

Fraktal geometriyada muhim tushunchalardan yana biri fraktal o'lchov (fractal dimension) hisoblanadi. An'anaviy geometriyada o'lchov butun sonlar bilan ifodalanadi: chiziq bir o'lchamli, tekislik ikki o'lchamli, fazo esa uch o'lchamli hisoblanadi. Fraktal geometriyada esa geometrik strukturalarning o'lchovi butun son bo'lmasligi mumkin. Bunday o'lcham fraktal o'lchov deb ataladi.

Fraktal o'lchovni hisoblash uchun ko'pincha Hausdorff o'lchami yoki box-counting dimension usullari qo'llaniladi. Box-counting o'lchami quyidagi formula orqali aniqlanadi:

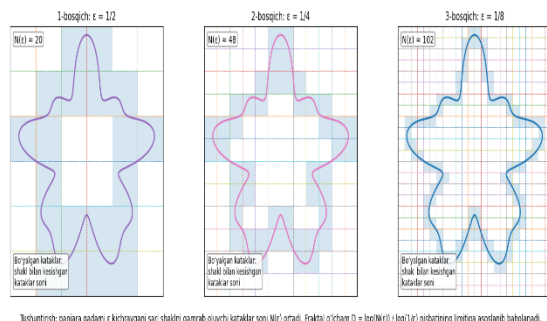
$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)}$$

Bu yerda:

$N(\varepsilon)$ - o'lchovi ε bo'lgan kataklar soni

D - fraktal o'lchov

Ushbu formula fraktal strukturani qamrab oluvchi kataklar sonining o'zgarishini tahlil qilish orqali uning geometrik murakkabligini aniqlash imkonini beradi (2-rasm).



2-rasm. Box-counting usuli yordamida fraktal o'lchovni aniqlash sxemasi

Fraktal strukturalarni hosil qilish jarayoni ko'pincha iteratsion algoritmlar yordamida amalga oshiriladi. Iteratsiya jarayonida boshlang'ich geometrik shaklga ma'lum transformatsiyalar ketma-ket qo'llanadi. Har bir iteratsiya bosqichida geometrik shakl yanada murakkablashib boradi.

Iteratsion jarayon matematik jihatdan quyidagi rekursiv formula orqali ifodalanishi mumkin:

$$x_{n+1} = f(x_n)$$

bu yerda $f(x)$ iteratsion funktsiyani bildiradi.

Fraktal geometriyaning eng mashhur modellaridan biri Mandelbrot to'plami hisoblanadi. Mandelbrot to'plami kompleks sonlar tekisligida iteratsion jarayon yordamida hosil qilinadi. Ushbu model quyidagi formula orqali aniqlanadi:

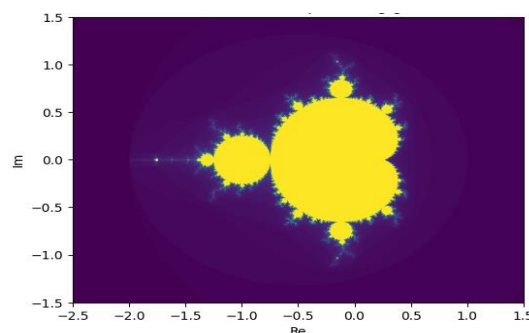
$$z_{n+1} = z_n^2 + c$$

bu yerda:

z — kompleks son

c — parameter

Mandelbrot to'plami fraktal strukturalarning murakkab va o'ziga o'xshash xususiyatlarini aniq namoyon etadi (3-rasm).



3-rasm. Mandelbrot fraktal to'plamining geometrik tasviri

Horizontol o'q (Re) — kompleks sonning haqiqiy qismi;

Vertikal o'q (Im) — mavhum qismi;

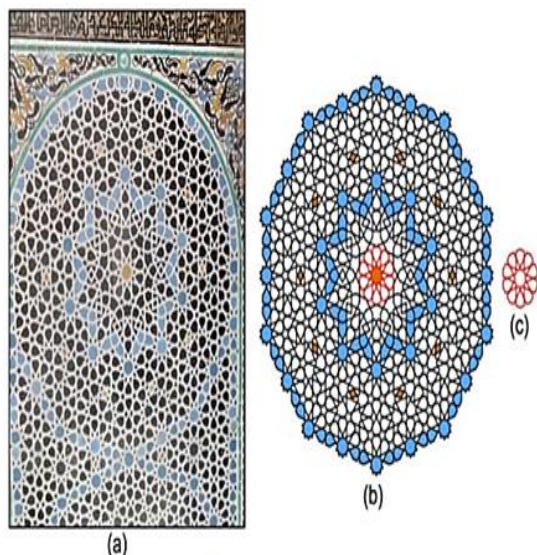
Markazdagi yopiq hudud — Mandelbrot to'plamiga tegishli nuqtalar;

Chegaradagi murakkab struktura — fraktal chegaralar.

Fraktal geometriya kompyuter grafikasi sohasida ham keng qo'llaniladi. Fraktal algoritmlar yordamida murakkab geometrik shakllarni kompyuter muhitida generatsiya qilish mumkin. Masalan, Koch egri chizig'i, Sierpinski uchburchagi va Mandelbrot fraktali kabi modellar kompyuter grafikasi yordamida yaratiladi. Fraktal modellar yordamida murakkab geometrik ornamentlarni modellashtirish imkoniyati mavjud. Ayniqsa, Islom me'morchiligidagi geometrik naqshlar ko'p darajali va takrorlanuvchi strukturalardan tashkil topganligi sababli ularni fraktal geometriya yordamida tahlil qilish va modellashtirish mumkin.

Oltin nisbat. Oltin nisbat tabiatda va Giza (Misr) piramidasi va Afinadagi Parfenon (Gretsiya) kabi me'moriy binolarda uchraydi. Bu ketma-ketlik tabiatda mavjud bo'lib, Fibonachchi ketma-ketligi deb ataladi. Biz islom geometrik san'atining ko'plab naqshlari oltin nisbat yordamida yaratilganligini ko'rishimiz mumkin. Islom geometrik san'ati. Islom bezaklari uch turdan iborat: gulli dizaynlar, xattotlik va geometrik naqshlar. Bu butun islom me'morchilik madaniyatlarida juda ko'p miqdorda uchraydi. U turli xil buyumlarda va ko'plab turdagi ob'ektlarda uchraydi. Oxirgi turkum (geometrik naqshlar) islom san'atining eng ajralib turadigan xususiyatlaridan biridir. Geometrik naqshlarda islomiy yulduz naqshlari eng chiroyli hisoblanadi. Ular "yulduz" yoki "atirgul shakli" ga o'xshash nosimmetrik shakllarning takroriy nusxalari natijasidir. 6, 8, 10, 12 va 16 qirrali yulduz va atirgul shakllari eng keng tarqalganlardandir.





4-rasm. (a) Marokashning Fes shahridagi Attarina madrasasi panelini bezatgan naqsh, (b) naqsh bo'yicha qurilgan arava g'ildiragi, naqsh tarkibidagi 10 qirrali atirgul shakli

Usullari

Fraktal geometriya asosida murakkab geometrik shakllarni modellash jarayoni asosan iteratsion va rekursiv algoritmlarga tayanadi. Ushbu jarayonlar orqali oddiy geometrik elementlardan ko'p bosqichli va o'ziga o'xshash strukturalar hosil qilinadi. Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda fraktal modellash jarayonining bir necha asosiy usullari mavjud bo'lib, ular orasida iteratsion funksiyalar tizimi, L-tizimlar (Lindenmayer systems) hamda rekursiv algoritmlar muhim o'rin tutadi. Iteratsion funksiyalar tizimi fraktal modellash jarayonining eng muhim matematik usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usulda geometrik shakl bir nechta affine transformatsiyalar yordamida ketma-ket qayta quriladi.

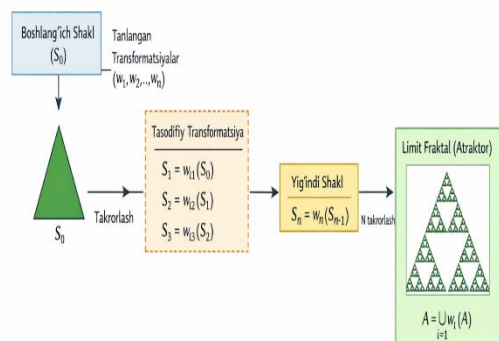
IFS quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$$

Bu yerda har bir w_i – quyidagi affine transformatsiya:

$$w_i(x, y) = \begin{pmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \end{pmatrix}$$

Ushbu transformatsiyalar takroriy qo'llanilishi natijasida fraktal shakl hosil bo'ladi.



5-rasm. IFS asosida fraktal generatsiya jarayoni sxemasi

L-tizim quyidagi komponentlardan iborat:

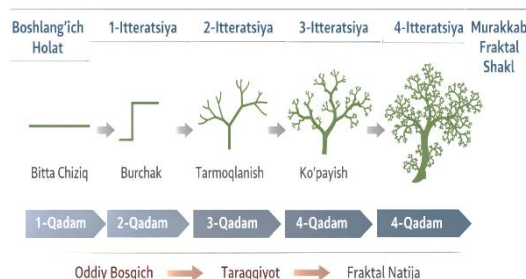
V - belgilar to'plami;

ω - boshlang'ich satr (aksioma);

P - almashtirish qoidalari.

Masalan: $F \rightarrow F + F - -F + F$

Bu qoida asosida har bir iteratsiyada yangi geometrik struktura hosil qilinadi (6-rasm).



6-rasm. L-tizim asosida fraktal geometrik shakl hosil bo'lish jarayoni

Rekursiv algoritmlar fraktal modellash jarayonida keng qo'llaniladigan usullardan biri bo'lib, ular funksiyaning o'zini o'zi chaqirishi orqali murakkab strukturalarni hosil qiladi. Rekursiv jarayon umumiy holda quyidagicha

$$F(n) = \begin{cases} \text{bazaviy holat}, & n = 0 \\ f(F(n-1)), & n > 0 \end{cases}$$

Rekursiv algoritmlar yordamida quyidagi mashhur fraktallar hosil qilinadi:

Koch egri chizig'i

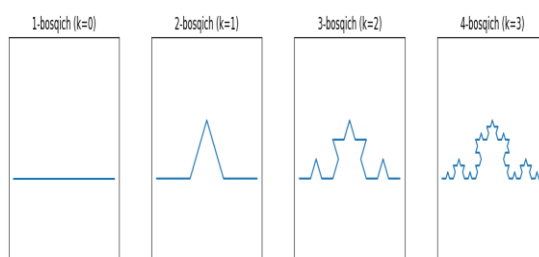
Sierpinski uchburchagi

Cantor to'plami

Misol: Koch egri chizig'i

1. Chiziq segmenti olinadi
2. Uchga bo'linadi
3. O'rta qismga uchburchak qo'shiladi
4. Jarayon takrorlanadi

Natijada murakkab fraktal egri chiziq hosil bo'ladi (7-rasm).



7-rasm. Rekursiv algoritm asosida Koch egri chizig'ining hosil bo'lish bosqichlari

1-jadval

Fraktal modellash usullarining taqqoslanishi

Usul	Afzalliklari	Kamchiliklari
IFS	Matematik aniqlik yuqori	Parametr tanlash murakkab

L-tizim	Tabiiy shakllarga mos	Grafika interpretatsiyasi murakkab
Rekursiv algoritim	Oddiy va tushunarli	Hisoblash murakkabligi yuqori

Fraktal modellash usullari murakkab geometrik shakllarni yaratishda samarali vosita hisoblanadi. Iteratsion funksiyalar tizimi, L-tizimlar va rekursiv algoritmlar yordamida ko'p bosqichli, o'ziga o'xshash strukturalarni modellash mumkin. Ushbu usullar Islom me'morchiligidagi geometrik naqshlarni kompyuter modellashda muhim metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

Fraktal modellar asosida geometrik naqshlarni generatsiya qilish.

Mazkur bo'limda fraktal geometriya asosida geometrik naqshlarni generatsiya qilishning nazariy va algoritmik asoslari o'rganiladi. Fraktal modellar yordamida oddiy geometrik elementlardan murakkab va o'ziga o'xshash ornament strukturalarini hosil qilish mumkin. Islom me'morchiligidagi naqshlar ko'p hollarda takrorlanuvchi va simmetrik tuzilishga ega bo'lib, bu ularni fraktal modellash uchun qulay obyektga aylantiradi. Fraktal yondashuv orqali naqshlar iteratsion transformatsiyalar, rekursiv qurilish va parametrik boshqaruv asosida generatsiya qilinadi.

Fraktal generatsiya jarayonining umumiy modeli

Fraktal naqshlarni generatsiya qilish quyidagi umumiy matematik model orqali ifodalanadi:

$$S_{n+1} = T(S_n)$$

Bu yerda:

- S_n – n-bosqichdagi geometric struktura
- T – transformatsiya operatori (IFS, L-tizim yoki rekursiv operator)

Ushbu model asosida boshlang'ich shakl ketma-ket transformatsiyalar orqali murakkablashadi.

Fraktal asosida geometrik naqsh generatsiya algoritmi.

Fraktal naqshlarni hosil qilish algoritmi quyidagi bosqichlardan iborat:

Boshlang'ich geometrik element tanlash. Masalan:

- Aylana
- Kvadrat
- Yulduzsimon shakl

Transformatsiya qoidalarini aniqlash. Quyidagi transformatsiyalar qo'llaniladi:

- masshtablash
- aylantirish
- siljitish

Affine transformatsiya:

$$(x', y') = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}$$

Iteratsion qo'llash, transformatsiyalar ketma-ket qo'llaniladi:

$$S_{n+1} = T(S_n)$$

Natijani vizualizatsiya qilish, hosil bo'lgan nuqtalar yoki chiziqlar grafik shaklga keltiriladi. Iteratsiya soni (n)

- kichik $n \rightarrow$ oddiy shakl
- katta $n \rightarrow$ murakkab ornament

Masshtab koeffitsienti (r) $0 < r < 1$

Bu parametr naqshning zichligini belgilaydi.

Islom me'morchiligidagi naqshlarni fraktal asosda generatsiya qilish quyidagi usullar orqali amalga oshiriladi:

1. Garih naqshlarini fraktallashtirish

Garih elementlari takroriy joylashtirish orqali kengaytiriladi.

2. Yulduzsimon naqshlar generatsiyasi

Ko'pburchak asosida fraktal takrorlash qo'llaniladi:

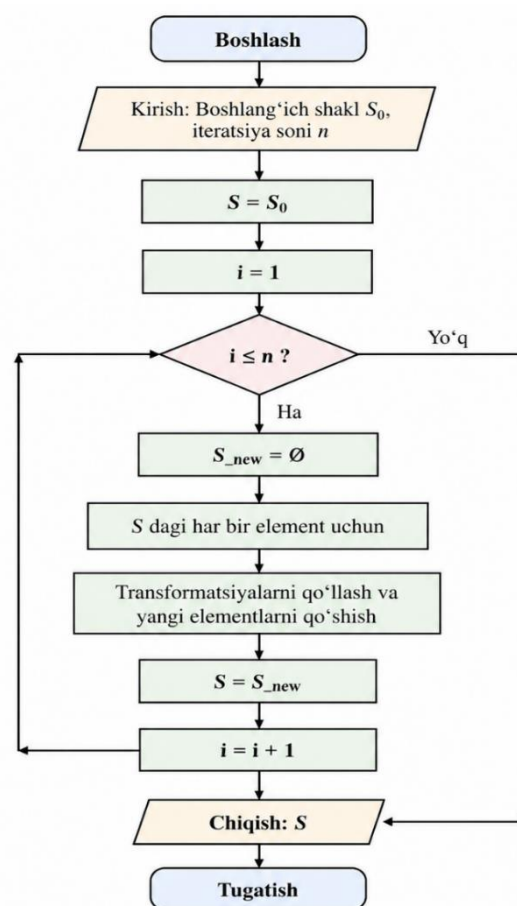
$$x_k = a + \cos\left(\frac{2\pi k}{n}\right), \quad y_k = b + r \sin\left(\frac{2\pi k}{n}\right)$$

3. Tessellatsiya + fraktal kombinatsiyasi

Tekislikni qoplash va ichki fraktal struktura qo'shiladi.

Kompyuter modellash algoritmi (pseudo-kod)

Quyidagi 8-rasmdagi algoritim fraktal naqsh generatsiyasini ifodalaydi:



2.10-rasm. Fraktal naqsh generatsiyasi algoritmi

Fraktal generatsiyaning afzalliklari

Fraktal modellash quyidagi ustunliklarga ega:

- murakkab naqshlarni oddiy formulalar bilan yaratish
- algoritmik generatsiya imkoniyati
- parametrlar orqali boshqarish
- kompyuter grafikasi bilan integratsiya



Fraktal modellar asosida geometrik naqshlarni generatsiya qilish Islom me'morchiligidagi murakkab ornamentlarni matematik va algoritmik jihatdan ifodalash imkonini beradi. Iteratsion va rekursiv yondashuvlar yordamida o'ziga o'xshash va ko'p bosqichli strukturalarni hosil qilish mumkin.

Mazkur yondashuv dissertatsiya doirasida ishlab chiqiladigan yangi fraktal algoritmlar va modellashtirish usullarining asosini tashkil etadi.

3. Xulosa

Fraktal geometriya nazariyasi va uning geometrik naqshlarni modellashtirishdagi o'rni o'rganildi. Fraktal tushunchasi, o'ziga o'xshashlik, fraktal o'lchov va iteratsion jarayonlar nazariy jihatdan tahlil qilindi.

Mazkur bobda IFS, L-tizimlar va rekursiv algoritmlar asosida murakkab shakllarni hosil qilish usullari ko'rib chiqildi. Fraktal yondashuvning afzalligi sifatida murakkab, ko'p bosqichli va o'ziga o'xshash geometrik strukturalarni modellashtirish imkoniyati ko'rsatib berildi.

Natijada fraktal geometriya Islom me'morchiligidagi naqshlarning tuzilishini tushuntirish va ularni matematik modellashtirish uchun samarali nazariy asos ekanligi isbotlandi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman, 1982.
- [2] Barnsley M. Fractals Everywhere. Academic Press, 1988.
- [3] Kaplan C. "Islamic Star Patterns from Fractal Geometry", 2005.

[4] Anarova, S., Ibrokhimova, Z. и Berdiev, G. (2020) «An Algorithm for Constructing Equations of Geometry Fractals Based on Theories of R-functions», 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2020 - Proceedings. Доступно на: <https://doi.org/10.1109/ISMSIT50672.2020.9254635>.

[5] Anarova, S., Sadullaeva, S. и Berdiev, G. (2021) «Calculation of building dimensions in the method of composition fractal analysis», 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). IEEE, сс. 01–04. Доступно на: <https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670390>.

[6] Anarova, Sh.A. и др. (2021) «Mathematical Modeling of Pascal Triangular Fractal Patterns and Its Practical Application», сс. 390–399. Доступно на: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68449-5_39.

[7] Anarova, Sh.A. и Ibrohimova, Z.E. (2022) «Methods of Constructing Equations for Objects of Fractal Geometry and R-Function Method», сс.425–436. Доступно на: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98404-5_40.

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

Anarova Shahzoda / Shahzoda Anarova	Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Tel: 94 6379066 https://orcid.org/0009-0007-5913-8302
-------------------------------------	---

Xujaqulov Navruz / Navruz Khujakulov	Qarshi davlat texnika universiteti E-mail: xujaqulovnavruz1@gmail.com Tel: 99 6602221
--------------------------------------	---



Computer modeling of geometric patterns based on fractal models

N.T. Khujakulov¹ 

¹ Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan

Abstract: The issues of implementing fractal-geometric models and generation algorithms in a computer environment are considered. The main goal of the chapter is to digitally construct, visualize, parametrically control geometric patterns in Islamic architecture based on fractal models and evaluate their practical effectiveness. The computer modeling environment, software tools, and selected technological platforms are presented. Then, the implementation of the developed FGDM-hybrid model, algorithms based on IFS, L-system, and R-functions in the Python programming language is covered. In the modeling process, the stages of constructing basic geometric shapes, applying transformations, iterative generation, parametric control, and graphical representation of results are sequentially analyzed. It tests the practical performance of the theoretical model. Geometric patterns generated based on different parameters are compared, their level of complexity, symmetrical properties, and fractal structure are evaluated. Also, the modeling results are analyzed in comparison with real ornaments in Islamic architecture, and the adequacy and practical applicability of the proposed model are shown.

Keywords: FGDM-hybrid model, L-systems, IFS, R-functions, radial-affine transformations, implicit shapes, NumPy, Matplotlib, SymPy, Shapely

Geometrik naqshlarni fraktal modellar asosida kompyuter modellashtrish

Xujakulov N.T.¹ 

¹ Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya: Fraktal-geometrik modellar va generatsiya algoritmlarini kompyuter muhitida realizatsiya qilish masalalari ko'rib chiqiladi. Bobning asosiy maqsadi Islom me'morchiligidagi geometrik naqshlarni fraktal modellar asosida raqamli shaklda qurish, vizuallashtirish, parametrik boshqarish va ularning amaliy samaradorligini baholashdan iborat. Kompyuter modellashtrish muhiti, dasturiy vositalar va tanlangan texnologik platformalar asoslanadi. Shundan so'ng ishlab chiqilgan FGDM-gibrid model, IFS, L-tizim va R-funksiyalar asosidagi algoritmlarning Python dasturlash tilida realizatsiyasi yoritiladi. Modellashtrish jarayonida bazaviy geometrik shakllarni qurish, transformatsiyalarni qo'llash, iteratsion generatsiya, parametrik boshqaruv va natijalarni grafik tasvirlash bosqichlari ketma-ket tahlil qilinadi. Unda nazariy modelning amaliy ishlashi sinovdan o'tkaziladi. Turli parametrlar asosida hosil qilingan geometrik naqshlar o'zaro taqqoslanadi, ularning murakkablik darajasi, simmetrik xususiyatlari va fraktal tuzilishi baholanadi. Shuningdek, modellashtrish natijalari Islom me'morchiligidagi real ornamentlar bilan qiyosiy tahlil qilinib, taklif etilgan modelning adekvatligi va amaliy qo'llash imkoniyati ko'rsatib beriladi.

Kalit so'zlar: FGDM-gibrid model, L-tizimlar, IFS, R-funksiyalar, radial-affin transformatsiyalar, implicit shakllar, NumPy, Matplotlib, SymPy, Shapely

1. Kirish

Kompyuter modellashtrish muhiti, dasturiy vositalar va tanlangan texnologik platformalar asoslanadi. Shundan so'ng ishlab chiqilgan FGDM-gibrid model, IFS, L-tizim va R-funksiyalar asosidagi algoritmlarning Python dasturlash tilida realizatsiyasi yoritiladi. Modellashtrish jarayonida bazaviy geometrik shakllarni qurish, transformatsiyalarni qo'llash, iteratsion generatsiya, parametrik boshqaruv va natijalarni grafik tasvirlash bosqichlari ketma-ket tahlil qilinadi.

Fraktal modellar asosida kompyuter modellashtrishning afzalliklari, cheklavlari hamda ushbu yondashuvni me'moriy bezaklarni raqamli rekonstruksiya qilish, dizayn, ta'lim va ilmiy vizualizatsiya sohalarida qo'llash istiqbollari umumlashtiriladi.

Geometrik naqshlarni kompyuterda modellashtrish zamonaviy kompyuter grafikasi, hisoblash geometriyasi va algoritmik tasvirlash texnologiyalarining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, Islom me'morchiligidagi murakkab ornamentlarni raqamli muhitda qayta tiklash, tahlil qilish va yangi kompozitsiyalarni generatsiya qilishda kompyuter modellashtrish texnologiyalari katta ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Bunday naqshlar ko'pincha simmetriya, takrorlanish, ierarxik tuzilish va parametrik bog'lanishlarga asoslangan bo'lgani sababli, ularni kompyuter vositalari yordamida ifodalash va boshqarish an'anaviy qo'lda chizishga nisbatan ancha samarali hisoblanadi.

^a  <https://orcid.org/0009-0007-5913-8302>



2. Tadqiqot metodologiyasi

Kompyuter modellashirish texnologiyalarining asosiy afzalligi shundaki, ular geometrik shakllarni faqat tasvirlash bilan cheklanmay, balki ularning matematik modelini yaratish, parametrlarini boshqarish, turli transformatsiyalarni qo'llash va yakuniy natijani yuqori aniqlikda vizuallashtirish imkonini beradi. (1-rasm).

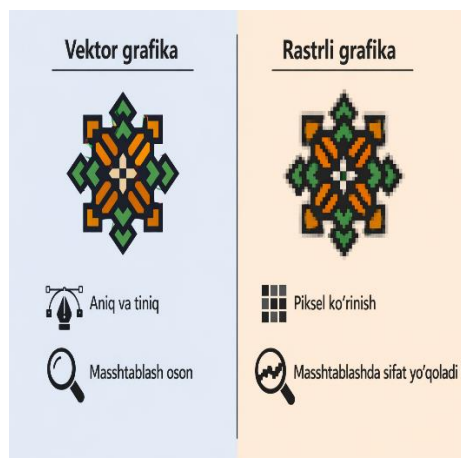


1-rasm. Geometrik naqshlarni kompyuter modellashirish texnologiyalarining umumiy sxemasi

Bu jihat ayniqsa fraktal xususiyatlarga ega naqshlarni modellashirishda muhimdir, chunki bunday strukturalar ko'p bosqichli iteratsiya, rekursiya va o'ziga o'xshashlik asosida shakllanadi.

Kompyuter grafikasi texnologiyalarining umumiy imkoniyatlari.

Geometrik naqshlarni modellashirishda kompyuter grafikasi ikki asosiy yo'nalishda namoyon bo'ladi: rastr grafika va vektor grafika (2-rasm). Rastr grafika tayyor tasvirlarni piksel asosida qayta ishlashga qulay bo'lsa, vektor grafika geometrik obyektlarni matematik primitivlar — nuqta, chiziq, egri chiziq, ko'pburchak va sirtlar asosida ifodalash imkonini beradi. Islomiy geometrik naqshlar uchun aynan vektorli yondashuv muhim hisoblanadi, chunki u simmetrik shakllarni cheksiz kattalashtirishda ham sifatni yo'qotmaydi va parametrik boshqaruvni qo'llab-quvvatlaydi.



2-rasm. Rastr grafika va vektor grafika tahlili

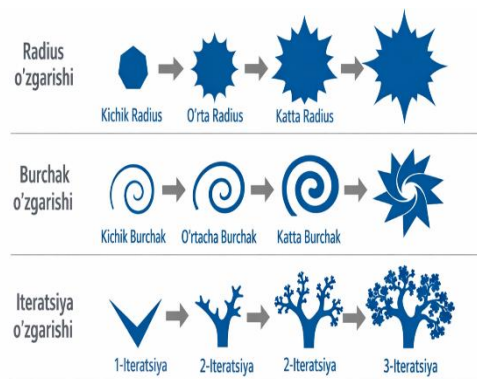
Geometrik naqshlarni kompyuterda qurishda quyidagi amallar asosiy rol o'ynaydi:

- Koordinatalarni hisoblash;
- Geometrik transformatsiyalarni qo'llash;
- Ko'pburchak va egri chiziqlarni qurish;
- Kompozitsion elementlarni takrorlash;
- Qatlamli struktura hosil qilish;
- Natijani vizualizatsiya qilish va eksport qilish.

Bu amallar ko'pincha chiziqli algebra, analitik geometriya va diskret algoritmlar asosida bajariladi.

Geometrik modellashirishning asosiy texnologik yondashuvlari.

Geometrik naqshlarni kompyuter modellashirishda bir nechta texnologik yondashuv mavjud. Birinchi yondashuv — parametrik modellashirish bo'lib, bunda geometrik obyektlar aniq parametrlar orqali aniqlanadi (3-rasm). Masalan, muntazam ko'pburchak yoki yulduzsimon shakl radius, burchak va tomonlar soni orqali quriladi. Bu usulning afzalligi shundaki, bitta parametr o'zgarsa, butun kompozitsiya avtomatik ravishda qayta hisoblanadi.



3-rasm. Parametrik modellashirishning ishlash tamoyillari

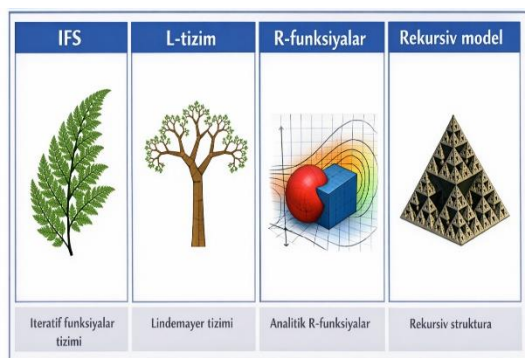
Ikkinchi yondashuv — algoritmik modellashirish bo'lib, bunda shakllar oldindan belgilangan qoidalar va algoritmlar orqali hosil qilinadi. Fraktal generatsiya, L-tizimlar, tessellatsiya va simmetrik naqshlarni qurish aynan shu turga kiradi. Mazkur yondashuv murakkab ornamentlarni avtomatik hosil qilish imkonini beradi.

Uchinchi yondashuv — funksiya-asosli modellashirish bo'lib, unda shakl analitik funksiyalar yoki implicit tenglamalar orqali ifodalanadi. Rvachevning R-funksiyalar usuli aynan shu guruhga kiradi. Bu yondashuvning ustunligi shundaki, murakkab geometrik obyektlar silliq va uzluksiz tarzda ifodalanadi, bu esa ularni birlashtirish va analitik tahlil qilish uchun qulay.

To'rtinchi yondashuv — protseduraviy modellashirish bo'lib, bunda shakl dasturiy qoidalar ketma-ketligi orqali quriladi. Bu usul kompyuter grafikasi va dizayn tizimlarida ko'p qo'llanadi. Islomiy naqshlar uchun protseduraviy modellashirish kompozitsion birlik va takrorlanuvchi modullarni avtomatik joylashtirishda ayniqsa foydalidir.

Fraktal modellashirish texnologiyalarining o'ri.

Geometrik naqshlarni modellashirishda fraktal geometriya asosidagi texnologiyalar alohida o'rin tutadi. Fraktal modellashirish murakkab shakllarni rekursiv va iterativ qoidalar asosida qurish imkonini beradi. Kompyuter muhitida bunday modellarni amalga oshirish uchun quyidagi texnologik vositalar samarali hisoblanadi:



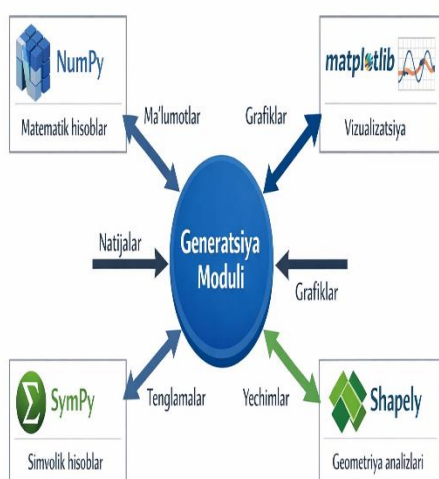
4-rasm. Fraktal modellashtirish texnologiyalarining klassifikatsiyasi

- Iteratsion funksiyalar tizimi (IFS);
- L-tizimlar;
- Rekursiv algoritmlar;
- Radial-affin transformatsiyalar;
- Implicit shakllar va R-funksiyalar;
- Parametrik generatsiya va vektor vizualizatsiyasi.

Barnsley ko'rsatganidek, IFS murakkab fraktal obyektlarni kontraktiv akslantirishlar tizimi orqali qurish uchun samarali vositadir [3]. Prusinkiewicz va Lindenmayerning ishlari L-tizimlarning strukturaviy generatsiya imkoniyatlarini asoslab bergan [5]. Shapiro esa R-funksiyalar orqali murakkab shakllarni analitik ifodalash mumkinligini ko'rsatgan [6]. Shu sababli fraktal modellashtirish texnologiyalari Islomiy geometrik naqshlar uchun nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham maqbul hisoblanadi.

Kompyuter modellashtirishda dasturiy vositalarning imkoniyatlari.

Geometrik naqshlarni kompyuterda modellashtirish uchun turli dasturiy vositalardan foydalanish mumkin. Ularning ichida ilmiy hisoblash va vizualizatsiya uchun Python muhitining imkoniyatlari alohida ahamiyatga ega. Python dasturlash tili modulli tuzilishi, kutubxonalarning boyligi va ilmiy hisoblashga mosligi bilan ajralib turadi (5-rasm).



5-rasm. Python asosidagi modellashtirish arxitekturas

Python asosida quyidagi vazifalarni bajarish mumkin:

- Geometrik nuqtalar koordinatalarini hisoblash;
- Ko'pburchak va yulduzsimon modularni qurish;

- Aylantirish, masshtablash va translatsiya amallarini bajarish;
- Fraktal iteratsiyalarni generatsiya qilish;
- L-tizim satrlarini hosil qilish va interpretatsiya qilish;
- Implicit funksiyalar asosida shakllarni chizish;
- Natijalarni PNG, SVG yoki PDF formatlarda saqlash.

Bundan tashqari, NumPy kutubxonasi matritsali hisoblashlar uchun, Matplotlib vizualizatsiya uchun, SymPy analitik ifodalar bilan ishlash uchun, Shapely esa tekislik geometriyasi operatsiyalari uchun qulay vosita bo'lib xizmat qiladi. Shu jihatdan Python muhitida qurilgan model ilmiy tadqiqot uchun ham, amaliy generatsiya uchun ham mos platforma hisoblanadi.

Vektor va parametrik eksport texnologiyalari. Geometrik naqshlarni modellashtirishning muhim bosqichlaridan biri — yakuniy natijani turli formatlarda eksport qilishdir. Ilmiy maqola va dissertatsiyalar uchun odatda quyidagi formatlar maqsadga muvofiq:

- **PNG** — yuqori sifatli rastr tasvir;
- **SVG** — vektor format, tahrirlash uchun qulay;
- **PDF** — ilmiy nashrlar uchun standart format;
- **EPS** — ayrim akademik nashrlar uchun mos format.

Kompyuter modellashtirish texnologiyalarining tadqiqotdagi o'ri:

Kompyuter modellashtirish texnologiyalari faqat tasvir hosil qilish vositasi sifatida emas, balki ilmiy tadqiqot metodologiyasining bir qismi sifatida qaraladi. Ular quyidagi masalalarni hal qilishga xizmat qiladi.

1. Islomiy naqshlarning matematik modelini tekshirish;
2. Fraktal algoritmlarning ishlashini sinash;
3. Turli parametrlar ta'sirini tahlil qilish;
4. Ornament murakkabligi va fraktallik darajasini baholash;
5. Real me'moriy naqshlar bilan taqqoslash.

Shunday qilib, kompyuter modellashtirish texnologiyalari tadqiqotda nazariy modelni amaliy natijaga aylantiruvchi asosiy vosita sifatida namoyon bo'ladi.

Shunday qilib, geometrik naqshlarni kompyuter modellashtirish texnologiyalari murakkab ornamentlarni raqamli muhitda qurish, boshqarish va tahlil qilish uchun keng imkoniyatlarga ega. Vektor grafika, parametrik modellashtirish, algoritmik generatsiya, fraktal yondashuv va funksiya-asosli modellashtirish texnologiyalari Islomiy naqshlarning strukturaviy xususiyatlarini aniq ifodalashga xizmat qiladi. Mazkur tadqiqot doirasida ayniqsa Python asosidagi ilmiy-hisoblash muhiti fraktal-geometrik modellarni realizatsiya qilish va natijalarni vizual ko'rsatish uchun eng maqbul platforma sifatida qaraladi.

Fraktal modellashtirish usullari, matematik modellar va generatsiya algoritmlari asosida geometrik naqshlarni avtomatik hosil qiluvchi dasturiy vositani yaratish jarayoni yoritiladi. Bo'limning asosiy maqsadi nazariy va algoritmik yechimlarni amaliy dasturiy muhitga joriy etish, ya'ni fraktal-geometrik modellashtirishga asoslangan funksional tizim ishlab chiqishdan iborat.

Islom me'morchiligiga xos murakkab geometrik naqshlarni yaratish, ularning parametrlarini boshqarish, fraktal iteratsiya jarayonini tashkil etish, hosil qilingan modellarni grafik ko'rinishda tasvirlash va ularni turli formatlarda saqlash imkonini beruvchi integrallangan tizim



sifatida qaratiladi. Shu sababli ishlab chiqilgan dasturiy vosita nafaqat ilmiy tajriba o'tkazish uchun, balki raqamli rekonstruksiya, grafik dizayn va ta'limiy vizualizatsiya uchun ham qo'llanishi mumkin.

Dasturiy vositani yaratish zarurati va maqsadi.

Geometrik naqshlarni an'anaviy usulda chizish ko'p vaqt talab etadi, murakkab iteratsion tuzilmalarni qo'lda qurish esa deyarli imkonsiz yoki samarasizdir. Ayniqsa, fraktal xususiyatlarga ega naqshlarni qurishda simmetriya, ko'p bosqichli detallashtirish, parametrik o'zgarish va transformatsiyalarni bir vaqtning o'zida hisobga olish zarur bo'ladi. Shu bois bunday jarayonni avtomatlashtiruvchi dasturiy vosita ishlab chiqish ilmiy-amaliy zarurat hisoblanadi.

Mazkur dasturiy vositani yaratishning asosiy maqsadi:

- Bazaviy geometrik modullarni avtomatik qurish;
- Transformatsiyalarni parametrik qo'llash;
- Fraktal iteratsiya va rekursiv generatsiyani amalga oshirish;
- L-tizim va R-funksiyalarni modellashtirish jarayoniga integratsiya qilish;
- Yakuniy naqshni ekranga chiqarish va saqlashdan iborat.

Dasturiy vositaning funksional tarkibi.

Ishlab chiqilgan dasturiy vosita bir nechta o'zaro bog'liq modullardan iborat funksional tizim sifatida loyihalashtiriladi. Tizimning umumiy tarkibi quyidagi modullarni o'z ichiga oladi:

1. Kirish parametrlarini boshqarish moduli

Bu modulda foydalanuvchi bazaviy shakl turi, radius, simmetriya darajasi, iteratsiya soni, masshtab koeffitsienti, aylanish burchagi kabi parametrlarni kiritadi.

2. Bazaviy geometrik shakllarni qurish moduli

Mazkur modul muntazam ko'pburchak, yulduzsimon shakl, girih elementi kabi boshlang'ich modullarni quradi.

3. Transformatsiyalar moduli

Bu modul aylantirish, siljitish, masshtablash, radial ko'paytirish kabi geometrik amallarni bajaradi.

4. Fraktal generatsiya moduli

Bu modul ishlab chiqilgan algoritmlar asosida naqshni iterativ ravishda kengaytiradi va detallashtiradi.

5. L-tizim asosida strukturaviy generatsiya moduli

Ushbu modul qayta yozish qoidalarini asosida ichki kompozitsion o'sishni hosil qiladi.

6. R-funksiyalar asosida kompozitsiya moduli

Bu modul diskret modullarni yagona analitik shaklga birlashtiradi.

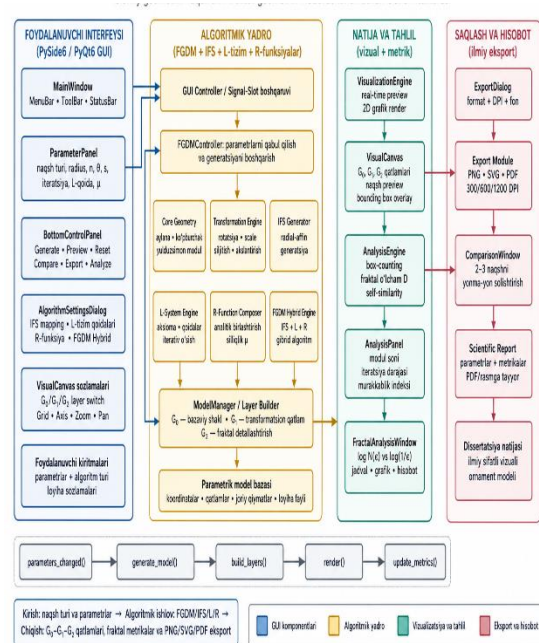
7. Vizualizatsiya va eksport moduli.

Bu modul hosil qilingan naqshni grafik ko'rinishda ifodalaydi va uni PNG, SVG yoki PDF formatlarda saqlaydi.

Shunday qilib, dasturiy vosita fraktal-geometrik modellashtirishning barcha asosiy bosqichlarini yagona tizimga birlashtiradi.

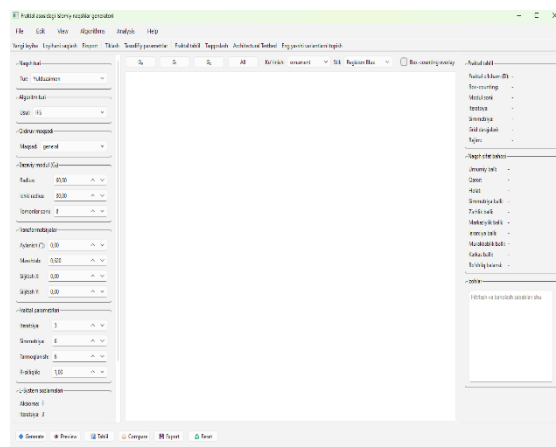
Dastur ishga tushirilgach, foydalanuvchi parametrlarni kiritadi. Shundan so'ng bazaviy modul quriladi va unga geometrik transformatsiyalar qo'llanadi.

6-rasm. Islomiy naqshlarni fraktal-geometrik modellashtirish dasturiy vositasining funksional sxemasi



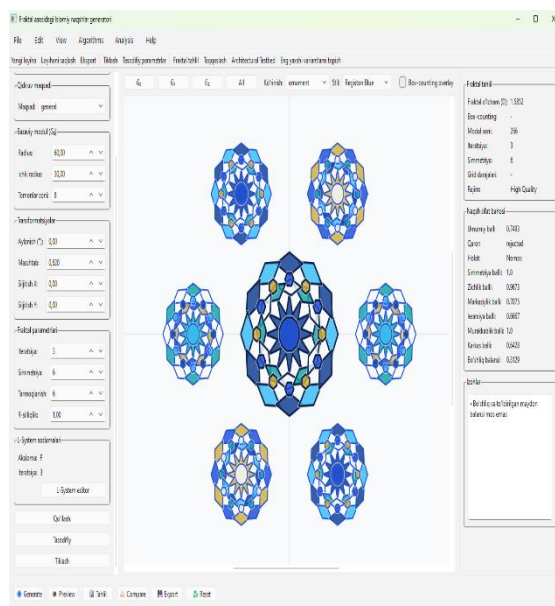
6-rasm. Islomiy naqshlarni fraktal-geometrik modellashtirish dasturiy vositasining funksional sxemasi

PySide6 oynalararo bog'lanish sxemasi va widgetlar to'plami dasturiy vositaning amaliy arxitekturasini belgilaydi. Asosiy oyna parametrlar paneli, vizual modellashtirish maydoni, tahlil paneli va boshqaruv panelidan tashkil topadi. Qo'shimcha dialog oynalari algoritim sozlamalari, eksport, taqqoslash va fraktal tahlil vazifalarini bajaradi. Signal-slot mexanizmi orqali foydalanuvchi kiritgan parametrlar algoritmik yadroga uzatiladi, generatsiya qilingan model vizual maydonda tasvirlanadi va fraktal tahlil natijalari alohida panelda aks ettiriladi. Ushbu tuzilma FGDM asosidagi ilmiy dasturiy vositani modulli, kengaytiriladigan va amaliy jihatdan qulay platforma sifatida ishlab chiqish imkonini beradi. (7-rasm).



7-rasm. Dasturiy interfeysning umumiy ko'rinishi parametr paneli va natijaviy grafik maydon

Keyingi bosqichda fraktal iteratsiya va strukturaviy o'sish orqali naqsh murakkablashadi. Hosil bo'lgan modullar analitik yoki geometrik jihatdan birlashtiriladi va yakuniy ornament grafik ko'rinishda chiqariladi (8-rasm).



8-rasm. Vizualizatsiya va eksport moduli

Dasturiy vositaning texnologik asosi.

- Python ilmiy hisoblash uchun qulay va keng tarqalgan til hisoblanadi;
- Unda geometriya, algebra va grafika bilan ishlash uchun kuchli kutubxonalar mavjud;
- Modulli dasturlash imkoniyati murakkab algoritmlarni bosqichma-bosqich integratsiya qilishga qulay;
- Vizualizatsiya va eksport imkoniyatlari yuqori.

Dasturiy vosita quyidagi kutubxonalarga tayangan holda ishlab chiqilishi mumkin:

- NumPy — matritsali va trigonometrik hisoblashlar uchun;
- Matplotlib — 2D grafik tasvirlash uchun;
- SymPy — analitik ifodalar va formulalar bilan ishlash uchun;
- Shapely — geometrik obyektlar va ularning kompozitsiyasi bilan ishlash uchun.

Shunday qilib, Python muhiti fraktal-geometrik modellash tirish vositasini yaratish uchun yetarli texnologik imkoniyatlarni taqdim etadi.

Dasturiy vositaning kirish va chiqish ma'lumotlari.

Ishlab chiqilgan vosita naqshlarning fractal o'lchovlarini tahlil qiladi (9-rasm).

Dasturiy vositaning chiqish natijalari esa quyidagilar bo'ladi:

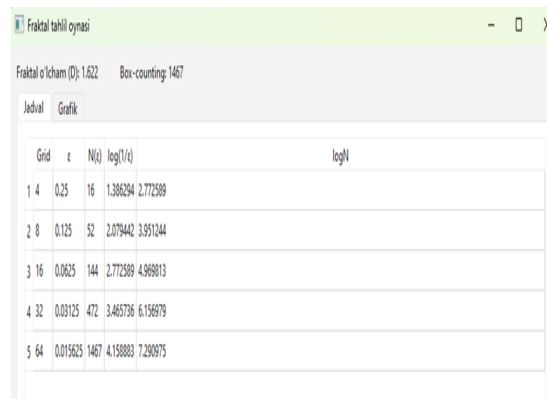
- Generatsiya qilingan geometrik naqsh koordinatalari;
- Fraktal qatlamlar bo'yicha modullar to'plami;
- 2D grafik tasvir;
- PNG/SVG/PDF formatdagi eksport fayllari.

Dasturiy vositaning ishlash algoritmi.

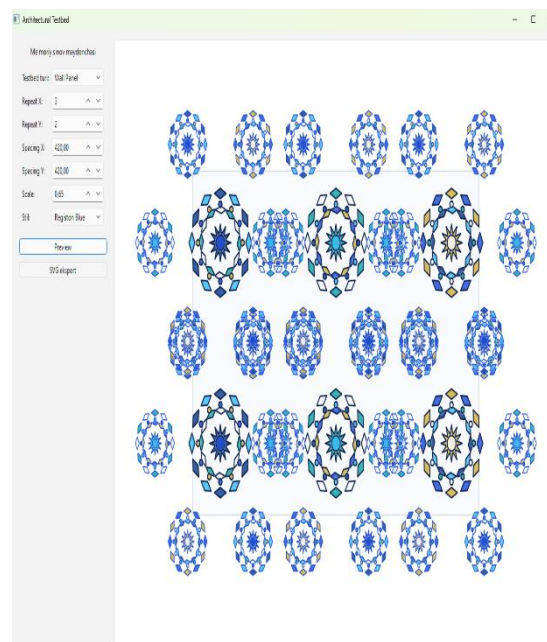
1. Foydalanuvchi kirish parametrlarini kiritadi;
2. Bazaviy geometrik shakl quriladi;
3. Transformatsiyalar qo'llanadi;
4. Fraktal iteratsiya ishga tushiriladi;
5. L-tizim asosida ichki struktura kengaytiriladi;
6. R-funksiyalar orqali kompozitsion birlashtirish amalga oshiriladi;
7. Natija grafik ko'rinishda chiqariladi;

8. Foydalanuvchi istasa, natija saqlanadi.

Bu jarayon dasturiy nuqtai nazardan modulli strukturaga ega bo'lib, har bir modul mustaqil sinovdan o'tkazilishi va keyinchalik tizimga integratsiya qilinishi mumkin.



9-rasm. Naqshlarning fraktal o'lchov parametrlarini hisoblash



10-rasm. Fraktal naqshlarning me'moriy joylashuvini kuzatish oynasi

Kompyuter modellarini yaratish jarayonining tavsifi.

Dasturiy vosita yordamida kompyuter modellarini yaratish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

- Avval bazaviy ornament tanlanadi;
- So'ng simmetriya va radial joylashuv parametrlari beriladi;
- Fraktal iteratsiya soni tanlanadi;
- Model avtomatik ravishda qatlam-qatlam quriladi;
- Yakuniy model ekranda ko'rinadi.

3. Xulosa

Fraktal modellash tirish algoritmlari asosida dasturiy vosita yaratildi va uning ishlash natijalari tahlil qilindi.



Python dasturlash muhiti asosida geometrik naqshlarni generatsiya qiluvchi tizim ishlab chiqildi.

Dasturiy vosita yordamida turli parametrlar asosida murakkab geometrik naqshlar hosil qilindi va ularning vizual hamda strukturaviy xususiyatlari o'rganildi. Olingan natijalar real Islomiy ornamentlar bilan qiyoslab baholandi.

Shuningdek, analog dasturlar bilan taqqoslash va iqtisodiy samaradorlik tahlili natijasida ishlab chiqilgan tizimning afzalliklari va amaliy ahamiyati asoslab berildi. Natijada taklif etilgan yondashuvning samaradorligi tasdiqlandi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Anarova, S., Ibrokhimova, Z. и Berdiev, G. (2020) «An Algorithm for Constructing Equations of Geometry Fractals Based on Theories of R-functions», 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2020 - Proceedings. Доступно на: <https://doi.org/10.1109/ISMSIT50672.2020.9254635>.

[2] Anarova, S., Sadullaeva, S. и Berdiev, G. (2021) «Calculation of building dimensions in the method of composition fractal analysis», 2021 International

Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). IEEE, сс. 01–04. Доступно на: <https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670390>.

[3] Anarova, Sh.A. и др. (2021) «Mathematical Modeling of Pascal Triangular Fractal Patterns and Its Practical Application», сс. 390–399. Доступно на: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68449-5_39.

[4] Anarova, Sh.A. и Ibrohimova, Z.E. (2022) «Methods of Constructing Equations for Objects of Fractal Geometry and R-Function Method», сс. 425–436. Доступно на: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98404-5_40.

[5] Blair, S., Bloom, J. и Bloom, J. (1995) The art and architecture of Islam 1250 - 1800. Repr. with corrections. New Haven: Yale Univ. Press (Pelican history of art).

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

Xujaqulov Navruz / Navruz Khujakulov	Qarshi davlat texnika universiteti E-mail: xujaqulovnavruz1@gmail.com Tel: 99 6602221
--	--



A theoretical basis for the influence of road pavement texture on traffic safety and skid resistance

M.A. Malikov¹^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article theoretically analyzes the effect of road surface texture on the quality of grip with vehicle tires. The microtexture and macrotexture indicators of the road surface, their influence on the adhesion coefficient through adhesion and hysteresis factors, were studied based on scientific sources. The effect of texture parameters on skid resistance and traffic safety in dry and wet pavement conditions was evaluated. According to the results of the study, it was theoretically analyzed that maintaining the optimal depth and morphological characteristics of the pavement surface texture is an important factor in increasing traffic safety, reducing skidding, and preventing traffic accidents.

Keywords: road pavement, texture, microtexture, macrotexture, coefficient of friction, adhesion, hysteresis, tire-pavement interaction, traffic safety, skid resistance

Avtomobil yo'llari qoplamasi teksturasining harakat xavfsizligi va tishlashish sifatiga ta'sirini nazariy asoslash

Malikov M.A.¹^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu ilmiy maqolada avtomobil yo'llari qoplamasi yuzasi teksturasining transport vositalari shinalari bilan tishlashish sifatiga ta'siri nazariy jihatdan tahlil qilingan. Yo'l qoplamasining mikrotekstura va makrotekstura ko'rsatkichlari, ularning adgeziya va gisterezis omillari orqali tishlashish koeffitsiyentiga ta'siri ilmiy manbalar asosida o'rganilgan. Quruq va nam qoplama sharoitlarida tekstura parametrlarining tishlashish sifati hamda harakat xavfsizligiga ta'siri baholangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qoplama yuzasi teksturasining optimal chuqurligi va morfologik xususiyatlarini saqlab qolish yo'l harakati xavfsizligini oshirish, sirpanish holatlarini kamaytirish hamda yo'l-transport hodisalarining oldini olishda muhim omil hisoblanishi nazariy tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: yo'l qoplamasi, tekstura, mikrotekstura, makrotekstura, ishqalanish koeffitsiyenti, ilashish, gisterezis, shina va yo'l qoplamasi o'zaro ta'siri, harakat xavfsizligi, sirpanishga qarshilik

1. Kirish

Avtomobil yo'llarida harakat xavfsizligini ta'minlashda yo'l qoplamasining ekspluatatsion holati muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, qoplama yuzasining teksturaviy xususiyatlari transport vositalari shinalarining yo'l bilan tishlashish darajasini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Yo'l qoplamasi va shina o'rtasidagi samarali tishlashish transport vositasining tormozlanishi, tezlanishi hamda boshqaruvchanligini ta'minlaydi. Shu sababli qoplama yuzasi teksturasining shakllanishi va uning ekspluatatsiya davridagi o'zgarishlarini o'rganish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biridir.

Yo'l qoplamasi yuzasi transport oqimi va iqlim omillari ta'sirida asta-sekin yemiriladi hamda uning teksturaviy ko'rsatkichlari o'zgaradi. Natijada qoplama va shina o'rtasidagi adgeziya va gisterezis kuchlari kamayib, tishlashish sifati yomonlashadi. Ayniqsa, nam ob-havo sharoitlarida qoplama yuzasida suv qatlamining hosil bo'lishi sirpanish xavfini oshiradi va yo'l-transport hodisalari yuzaga kelish ehtimolini kuchaytiradi.

Jahon amaliyotida yo'l qoplamalarining sirpanishga qarshilik xususiyatlarini baholashda mikrotekstura va

makrotekstura parametrlariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Mikrotekstura asosan past tezliklarda tishlashish sifatini ta'minlasa, makrotekstura yuqori tezliklarda hamda nam qoplama sharoitida suvni samarali drenajlash orqali harakat xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi. Shu bois qoplama yuzasi teksturasining geometrik va morfologik xususiyatlarini chuqur o'rganish hamda ularning tishlashish sifatiga ta'sirini nazariy jihatdan asoslash muhim ahamiyatga ega.

Mazkur maqolaning maqsadi avtomobil yo'llari qoplamasi yuzasi teksturasining tishlashish sifatiga ta'sirini nazariy jihatdan tadqiq qilish, mikrotekstura va makroteksturaning adgeziya hamda gisterezis omillari bilan bog'liqligini tahlil qilish hamda harakat xavfsizligini ta'minlashdagi ahamiyatini baholashdan iborat. [1-5].

2. Tadqiqot metodologiyasi

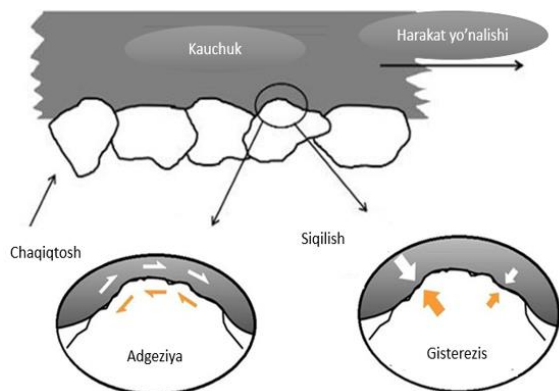
Yo'l qoplamalarining xizmat qilish muddati davomida transport vositasini yuklanishi natijasida yuzaga keladigan yuza kuchlanishlari atrof-muhit sharoitlari bilan birgalikda yo'l teksturasi tuzilishining o'zgarishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida shina bilan tishlashishning pasayishiga va

^a <https://orcid.org/0000-0002-2175-6240>



tishlashish sifatining yomonlashishiga sabab bo'ladi. Shu bois, yetarli darajada tishlashish sifatini ta'minlash uchun yo'l qoplamasi teksturasining holatini baholash dunyo bo'ylab yo'l xo'jaligi tashkilotlari uchun muntazam bajariladigan vazifa bo'lib kelmoqda.

Yo'l qoplamasining sirpanishga qarshiligi to'g'ridan-to'g'ri tishlashish koeffitsiyenti bilan baholanishi yoki bilvosita yo'l qoplamasi yuzasining teksturasi bilan baholanishi mumkin. Yo'l qoplamasining tishlashishi ikkita asosiy tishlashish kuchi omili adgeziya va gisterezis o'rtasidagi murakkab o'zaro ta'sirning natijasidir (1-rasm) [6]. Olib borilgan tadqiqotlarga asosan, adgeziya asosan mikrotekstura, gisterezis esa asosan makrotekstura ta'sir qiladi [7]. Mikrotekstura asosan avtomobillarning past tezlikda harakatida, makrotekstura esa yuqori tezlikda va yomg'irli kunlarda tishlashish sifatini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega [8]. Adgeziya - bu avtomobil shinalari kauchuklari va qoplama yuzasining bir-biri bilan ta'sir qilganda o'zaro bog'lanishi natijasida yuzaga keladigan tishlashish. Tishlashish kuchlarining gisterezis komponenti avtomobil shinasining to'liq deformatsiyasi tufayli energiya yo'qolishi bilan hosil bo'ladi. Deformatsiya odatda shinani tekstura atrofida o'rab olish deb ataladi. Shina qoplama yuzasiga siqilganida, kuchlanishning taqsimlanishi deformatsiya energiyasining kauchuk ichida to'planishiga olib keladi. Shina bo'shashganda, saqlangan energiyaning bir qismi qayta tiklanadi, boshqa qismi esa qaytarilmaydigan issiqlik (gisterezis) shaklida yo'qoladi. Ushbu yo'qotish shinaning oldinga harakatni to'xtatishga yordam beradigan aniq tishlashish kuchini tavsiflaydi [9].



1-rasm. Adgeziya va gisterezis omillarning avtomobil shinasi bilan ta'siri

Tishlashishni quyidagi 1-formulada ko'rsatilganidek, adgeziya (F_A) va gisterezis (F_H) tishlashish kuchlarining yig'indisi sifatida asoslash mumkin.

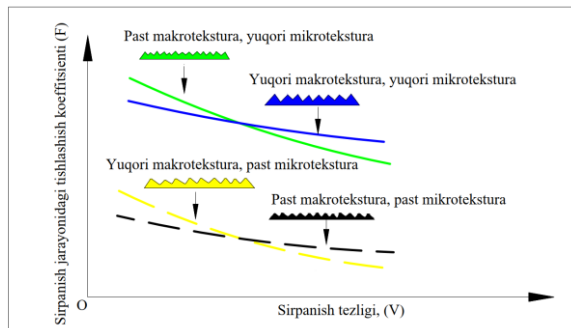
$$F_T = F_A + F_H \quad (1)$$

Ikkala omil ham ko'p jihatdan qoplama yuzasi xususiyatlariga, shina va qoplama o'rtasidagi ta'sirga va shinaning xususiyatlariga bog'liq. Bundan tashqari, shinalar kauchuklari viskoelastik material bo'lgani uchun harorat va siljish tezligi ikkala komponentga ham ta'sir qiladi.

Adgeziya kuchi silliq teksturali va quruq qoplamalarda umumiy tishlashishni ifodalaydi, nam va g'adir-budur teksturali qoplamalarda esa gisterezis kuchi asosiy hosil qiluvchi hisoblanadi.

Mikrotekstura, makrotekstura va tezlikning qoplama tishlashishiga nisbiy ta'siri 2-rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, mikrotekstura shinalar tishlashishining kattaligiga, makrotekstura esa tishlashish tezligi gradientiga ta'sir qiladi.

Past tezlikda mikrotekstura nam va quruq tishlashish darajasida ustunlik qiladi. Yuqori tezlikda makroteksturaning mavjudligi qoplama yuzasidagi suvning drenajlanishini osonlashtiradi, shunda mikrotekstura bilan ta'minlangan tishlashishning hosil qiluvchisi suv ustida bo'lish orqali qayta tiklanadi. Gisterezis tezlik bilan o'sib boradi va 100 km/soat dan yuqori tezlikda tishlashishning 95% dan ortiq qismini tashkil qiladi [10].



2-rasm. Mikrotekstura-makrotekstura va tezlikning qoplama tishlashishiga nisbiy ta'sirining nazariyasi

Yo'lning mikrotekstura va makroteksturasining quruq-nam holatdagi qoplamalarda tishlashish sifatiga ta'siri quyida tahlil qilingan. Makroteksturaning quruq va nam qoplamalar uchun tishlashish sifatiga ta'siri:

- Quruq qoplamada makrotekstura morfologiyasi (to'ldiruvchi materialning qavariq shakl oralig'i) harakatlanish paytida shinalar davriy deformatsiyasining burchak tezligini (ω) ifodalaydi (2-formula). Mineral to'ldiruvchilarning o'rtacha oraliq masofasi qisqarishi (kamayishi) shinalar va yo'l yuzasi o'rtasidagi ta'sir maydonini oshiradi, bu esa tishlashish sifatini yaxshilaydi. Buning sababi shundaki, shinaning yig'ilgan va sarflangan energiyasi makrotekstura balandliklari orasidagi o'rtacha masofaning kamayish funksiyasi bo'lib, makrotekstura balandliklari orasidagi o'rtacha masofa kamayishi bilan ortib borayotgan tishlashishni ko'rsatdi [10].

$$\omega = 2\pi v/D \quad (2)$$

To'ldiruvchi material qavariq shakli balandligining tishlashish sifatiga ta'siri qavariq shaklning shina bilan to'liq o'ralganligi darajasiga ta'sir qiladi. Kauchuk shinalar qavariq shaklni makrotekstura morfologiyasi bilan to'liq o'rab olishi mumkin. Qavariq shaklning balandligi oshgani sayin, shinaning to'planib keyin sarflangan energiyasi ortadi, tishlashish sifati ham ortadi. Kauchuk shinalar makrotekstura morfologiyasining to'liq qoplay olmasa, shinaning kuchlanish amplitudasi qavariq shakl balandligi oshishi bilan o'zgarmaydi va tishlashish sifati ham o'zgarmaydi [11].

- Nam qoplama uchun

Bernoulli energiya tenglamasiga ko'ra shinaning nam qoplamada hosil qilgan gidrodinamik bosimi tezlikning kvadratiga proporsionaldir va suv qavachasining gidrodinamik bosimi avtomobil tezligining oshishi bilan ortadi, bu yo'lda harakatlanish xavfsizligiga ta'sir qiladi [12]. Makrotekstura va qoplama yuzasining relefi yo'l yuzasida to'plangan suvni shina ostidan yon tomonga qochiradi, shinalar va yo'l yuzasi orasidagi ta'sir maydonini oshiradi.

Bazi olimlar tadqiqotlarida yo'l yuzasini bir xil egirlik radiusi va balandligi bo'lgan ko'plab sharlardan tashkil topgan ideal yuza deb hisoblashgan. Ideal kontakt holatini

tahlil qilish va shinalar-qoplama tizimining tishlashish kuchini nazariy hisoblash orqali, 3-formulada ko'rsatilganidek, ideal g'adir-budur yuza ta'sir tizimining tishlashishda siljish kuchlanishi va tishlashish koeffitsiyenti ifodalari aniqlangan [13].

$$\varphi = \frac{\tau_r}{p_r} \quad (3)$$

Bu yerda:

φ – ta'sir yuzasining tishlashish koeffitsiyenti;

τ_r – ta'sir yuzasining tishlashish siljish kuchlanishi;

p_r – shina va yo'l yuzasi o'rtasidagi haqiqiy ta'sir kuchlanishi.

Tenglamadagi parametrlar adgezion va gisterezis omillarga bog'liqdir. Tishlashish sifati asosan qoplama sharoitlariga, shinalarning tarkibiy xususiyatlariga, teksturasining shakliga bog'liq. Yomg'irli kunlarda suv qavacha qoplama yuzasiga "moylash" sifatida ta'sir etadi, shuning uchun adgezion omil sezilarli darajada kamayadi, ammo gisterezis omil o'zgar olmaydi. Gisterisis omil asosan yo'l yuzasining teksturaviy xususiyatlariga va shinalarning xususiyatlariga bog'liq, lekin u qoplama yuzasining ifloslanish sharoitlari bilan bog'liq emas.

Shuning uchun, to'ldiruvchining maksimal eng kichik zarracha o'lchami bir xil bo'lganda, yo'l yuzasi teksturalari morfologiyasining strukturaviy chuqurligini mos ravishda oshirish nam qoplamaning tishlashish sifatini yaxshilashga yordam beradi.

Mikroteksturaning quruq va nam qoplamalar uchun tishlashish sifatiga ta'siri:

- Quruq qoplama uchun.

Mikrotekstura morfologiyasining (shaklining) yo'l qoplamasi tishlashish sifatiga ta'siri asosan adgeziya va mikro ta'sir orqali amalga oshiriladi. Mikrotekstura avtomobil past tezlikda (30-50 km/soat dan past) harakatlanayotganda qoplamaning tishlashish sifatini tavsiflaydi. Mikrotekstura morfologiyasining konstruktiv tavsifi qoplamaning tishlashish sifatiga ta'siri asosan mineral to'ldiruvchining balandlik, zichlik va shakliy tiklik xususiyatlariga bog'liq.

Mikroteksturaning morfologiyasi va strukturaviy xususiyatlarining ta'siri, asosan, shinalar va qoplama yuzasi adgeziya tishlashishiga ega bo'lganda, adgeziyadan kelib chiqadigan tishlashish, rezina shinalarning adgeziyasi energiyasining yo'qolishidan kelib chiqadi (4-formula) [14]

$$F_A = K_1 K_2 \sigma_m \frac{N}{H} \tan \delta, \quad (4)$$

Bu yerda:

K_1 - adgeziya koeffitsiyenti;

K_2 - mikro qirralar koeffitsiyenti;

$\sigma_m(N/H)$ - mikro qavariq shaklning uchidagi maksimal kuchlanish;

N - vertikal yuk;

H - rezina shinalarning qattiqligi;

δ - gisterezis burchagi.

Avtomobil shinalari uchun tishlashish F_A ning adgezion omili mikro qirra shakli $\sigma_m(N/H)$ ustki qismidagi maksimal kuchlanishga to'g'ridan-to'g'ri proporsional hisoblanadi. Agar, mikro qirralar qiymati oshsa tishlashish sifati ham oshadi.

Mikrotekstura morfologiyasining balandlik parametri qanchalik katta bo'lib shina chuqur singdirilgan bo'lsa, mikroteksturaning zichligi va shina bilan ta'sir qiladigan nuqtalari shunchalik ko'p bo'ladi, natijada shinalarning tishlashish koeffitsiyenti oshadi.

- Nam qoplama uchun

Nam qoplama uchun mikrotekstura morfologiyalari avtomobilning past tezligida qoplama tishlashishi, shu jumladan mikroteksturaning balandligi, zichligi va shakliy tikligini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Katta balandlik parametrlariga ega mikroteksturali qavariq shakl suv qavachasiga kirib, rezina shina to'g'ridan-to'g'ri ta'sir qilishi mumkin, bu bilan ta'sir maydoni oshadi va avtomobil sirpanishining oldi olinadi. Mikrotekstura morfologiyasining zichligi shinalar va yo'l o'rtasidagi samarali ta'sir maydonini aniqlaydi. Zichlik qanchalik baland bo'lsa, mikro g'adir-budurliklar maydoni shunchalik yuqori bo'ladi, natijada shina bilan ko'proq adgeziya nuqtalari paydo bo'ladi. Mikrotekstura morfologiyasi shakliy tikligi uning kauchuk shina yotqizish chuqurligiga bevosita ta'sir qiladi.

Makrotekstura 3-rasmda ko'rsatilganidek, shina-qoplama o'rtasidagi ta'sir bo'lganda mineral to'ldiruvchining yuqori yuzasidan suvning makrotekstura chuqurliklari drenajlanishiga ta'sir qiladi [15].



3-rasm. Makrotekstura suv sathi balandligining ikki o'lchovli tasviri

Mikrotekstura morfologiyasining (shakli) yuqori xarakterli parametrlariga ega bo'lgan qoplama, yuqori zichligi va shakliy tiklik quruq yoki nam qoplama sharoitida uning tishlashish sifatini oshirishga yordam beradi.

3. Xulosa

O'tkazilgan nazariy tahlillar natijasida, ekspluatatsiya holatidagi qoplama yuzalarining tekstura chuqurligi minimal talablarga javob berishini ta'minlash, teksturaning o'zgarishi tufayli tishlashish sifatining yomonlashishini oldini olish, qoplamaning nam holatida "YTH"ni oldini olish uchun samarali usul hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, yo'l qoplamasining mikrotekstura va makrotekstura xususiyatlari adgeziya hamda gisterezis omillari orqali tishlashish koeffitsiyentiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Mikrotekstura qoplamaning past tezliklardagi tishlashish sifatini ta'minlashda asosiy rol o'ynasa, makrotekstura yuqori tezliklarda va nam qoplama sharoitlarida suvni samarali drenajlash orqali sirpanish xavfini kamaytiradi. Qoplama yuzasi teksturasining chuqurligi, qavariq shakllarning balandligi, zichligi va shakliy tikligi ortishi shina va qoplama o'rtasidagi haqiqiy ta'sir maydonini kengaytirib, tishlashish sifatining yaxshilanishiga xizmat qiladi.

Shuningdek, ekspluatatsiya jarayonida transport yuklamalari va atrof-muhit omillari ta'sirida qoplama teksturasining yemirilishi tishlashish ko'rsatkichlarining pasayishiga olib kelishi aniqlandi. Shu sababli yo'l qoplamasi yuzasi teksturasining me'yoriy parametrlarini saqlash va muntazam nazorat qilish harakat xavfsizligini ta'minlashning muhim shartlaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari yo'l qoplamalarining sirpanishga qarshilik xususiyatlarini baholash, ularni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonlarida tekstura parametrlarini hisobga olish zarurligini ko'rsatadi. Bu esa yo'l-transport hodisalarining oldini olish, transport oqimining xavfsizligini oshirish hamda yo'l qoplamalarining xizmat muddatini samarali boshqarishga xizmat qiladi.



Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Luo H., Chen S., Zhu L. va boshqalar. Investigation of Surface Textures Deterioration on Pavement Skid-Resistance Using Hysteresis Friction Models and Numerical Simulation Method. *Friction*, 2024, Vol. 12, pp. 745–779. DOI: 10.1007/s40544-023-0811-1.
- [2] Wang Y., Zhang K. va boshqalar. Study on Skid Resistance of Asphalt Pavements Under Macroscopic and Microscopic Texture Features: A Review of the State of the Art. *Applied Sciences*, 2025, 15(12), 6819. DOI: 10.3390/app15126819.
- [3] Al-Assi M., Kassem E. Evaluation of Adhesion and Hysteresis Friction of Rubber–Pavement System. *Applied Sciences*, 2017, 7(10), 1029. DOI: 10.3390/app7101029.
- [4] Li X. va boshqalar. Separation of Macro- and Micro-Texture to Characterize Skid Resistance of Asphalt Pavement. 2024.
- [5] Wang H., Wang Z. va boshqalar. A State-of-the-Art Review of Asphalt Pavement Surface Texture and Its Measurement Techniques. *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- [6] Guo W., Chu L., Fwa T. F. Mechanistic harmonization of British pendulum test measurements // *Measurement*. – 2021. – T. 182. – S. 109618.
- [7] Jayawickrama P. W., Graham G. L. Use of skid performance history as basis for aggregate qualification for seal coats and hot-mix asphalt concrete surface courses // *Transportation research record*. – 1995. – T. 1501. – S. 31-38.
- [8] Guan B. et al. Influence of macrotexture and microtexture on the skid resistance of aggregates // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2018. – T. 2018. – №. 1. – S. 1437069.
- [9] Anupam K. et al. Influence of temperature on tire–pavement friction: Analyses // *Transportation research record*. – 2013. – T. 2369. – №. 1. – S. 114-124.

- [10] Jayme A., Al-Qadi I. L. Thermomechanical coupling of a hyper-viscoelastic truck tire and a pavement layer and its impact on three-dimensional contact stresses // *Transportation Research Record*. – 2021. – T. 2675. – №. 11. – S. 359-372.
- [11] Ma X. et al. Dynamic response analysis of vehicle and asphalt pavement coupled system with the excitation of road surface unevenness // *Applied Mathematical Modelling*. – 2022. – T. 104. – S. 421-438.
- [12] Liu X. et al. Evaluation of vehicle braking performance on wet pavement surface using an integrated tire-vehicle modeling approach // *Transportation research record*. – 2019. – T. 2673. – №. 3. – S. 295-307.
- [13] Dai Q. Study on the Influence of Asphalt Pavement Surface Characteristics on Anti Sliding Performance (master thesis) // *Southeast University, Nanjing*. – 2007.
- [14] Wang Y. Study on the Relationship Between Skid Resistance and Surface Roughness of Asphalt Pavement (PhD thesis) // *Southeast University, Nanjing*. – 2017.
- [15] Kienle R. et al. The influence of road surface texture on the skid resistance under wet conditions // *Proceedings of the Institution of Mechanical Yengineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. – 2020. – T. 234. – №. 3. – S. 313-319.

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

Malikov Muhammad Ahmad o'g'li / Muhammad Malikov	Toshkent davlat transport universiteti “Shahar infratuzilmalari muhandisligi va sun'iy intellekt” kafedrası v.b. dotsenti, t.f.f.d., (PhD) E-mail: malikvmukhammad@gmail.com Tel.: +998939558844 https://orcid.org/0000-0002-2175-6240
---	--



Analysis of modern calculation methods for locomotive traction of trains based on the experience of developed countries

N.S. Abdullaev¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article provides a comprehensive analysis of modern methods for calculating locomotive train traction, drawing on the experience of developed countries such as Germany, Japan, the USA, China, and various European nations. The article examines the transition from traditional empirical formulas used in modeling motion dynamics, such as the Davis equation, to more advanced techniques like multi-body dynamic modeling and numerical integration methods, including the fourth-order Runge-Kutta method. It also evaluates the effectiveness of energy-saving driving algorithms based on Pontryagin's maximum principle (coasting mode), the longitudinal dynamics of heavy freight trains (utilizing systems like TDEAS and LEADER), and the use of stochastic Monte Carlo methods for calculating braking curves within the ETCS. The research findings offer practical recommendations for enhancing the capacity, safety, and energy efficiency of railway transport.

Keywords: locomotive traction calculation, Davis equation, Runge-Kutta method, longitudinal dynamics, Pontryagin's maximum principle, Monte Carlo method, ETCS, ATO, energy efficiency, heavy-haul trains

Rivojlangan davlatlar tajribasi asosida poezdlarni lokomotivli tortishning zamonaviy hisoblash usullari tahlili

Abdullayev N.S.¹ ^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada rivojlangan davlatlar (Germaniya, Yaponiya, AQSH, Xitoy va Yevropa davlatlari) tajribasi asosida poezdlarni lokomotivli tortishning zamonaviy hisoblash usullari har tomonlama tahlil qilingan. Maqolada harakat dinamikasini modellashtirishdagi an'anaviy empirik formulalardan (masalan, Devis tenglamasi) ko'p massali dinamik modellashtirish va to'rtinchi tartibli Runge-Kutta kabi sonli integrallash usulliga o'tish jarayonlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, Pontryaginning maksimum tamoyiliga asoslangan energiya tejovchi haydash algoritmlari (coasting/vibeg rejimi), og'ir yuk poezdlarining bo'ylama dinamikasi (TDEAS va LEADER tizimlari) hamda ETCS tizimidagi tormoz egri chiziqlarini hisoblash uchun stoxastik Monte-Karlo usullarining samaradorligi baholangan. Tadqiqot natijalari temir yo'l transportining o'tkazuvchanlik qobiliyati, xavfsizligi va energiya samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar beradi.

Kalit so'zlar: lokomotiv tortuv hisobi, Davis tenglamasi, Runge-Kutta usuli, bo'ylama dinamika, Pontryaginning maksimum prinsipi, Monte Karlo usuli, ETCS, ATO, energiya samaradorligi, og'ir yuk poyezdlari

1. Kirish

Jahon iqlim inqirozi va uglerod neytralligiga erishish bo'yicha xalqaro majburiyatlar kuchayib borayotgan bir sharoitda transport sektori energiya samaradorligini oshirish bo'yicha misli ko'rilmagan bosimga duch kelmoqda. Temir yo'l transporti tarixan ommaviy yo'lovchi va yuk tashishning eng ekologik toza usullaridan biri bo'lib kelgan. Yaponiya tajribasi yaqqol ko'rsatib turibdiki, temir yo'llar mamlakatdagi barcha yo'lovchi tashish hajmining qariyb 27 foizini bajarsa-da, transport sektori issiqxona gazlari tashlanmalarining atigi 7 foizini tashkil qiladi. Shunga qaramay, infratuzilmani o'tkazuvchanlik qobiliyatiga bo'lgan talabning uzluksiz o'sishi munosabati bilan rivojlangan mamlakatlardagi (Germaniya, Yaponiya, AQSH, Xitoy va Yevropaning boshqa davlatlari) temir yo'l operatorlari poezdlar harakatini boshqarishda mutlaqo yangi

yondashuvlarni izlashga majbur bo'lmoqdalar [1-4]. Yangi temir yo'l liniyalarini qurish ulkan sarmoyalarni va uzoq muddatlarni talab qiladi, bu esa ilg'or hisoblash usullari va raqamlashtirish yordamida mavjud infratuzilmani optimallashtirishni mutlaq ustuvor vazifaga aylantiradi.

Ushbu optimallashtirishning markaziy elementi poezdlarning lokomotivli tortish hisobidir — bu harakat fizikasi, elektrotexnika, hisoblash matematikasi va avtomatik boshqarish nazariyasini birlashtirgan murakkab fanlararo jarayondir.

Zamonaviy lokomotiv tortish hisoblash usullari fundamental transformatsiyani boshdan kechirdi. Hozirgi vaqtda ular batafsil ko'p massali (multibody) dinamik modellashtirishga, bort kompyuterlarini energiya iste'molini boshqarish tizimlari bilan integratsiyalashga, avtoulagichlardagi (avtosepkalardagi) bo'ylama siqilish va cho'zilish kuchlarini hisoblashga, shuningdek tormozlanish

^a  <https://orcid.org/0009-0008-9288-7329>



egri chiziqlarini baholashning usullariga tayanadi. Yevropa poezdlar harakatini boshqarish tizimiga (ETCS) integratsiya qilingan algoritmlar yoki Amerikaning LEADER va Trip Optimizer tizimlari kabi avtomatlashtirilgan poezdlarni boshqarish (Automatic Train Operation — ATO) tizimlarini joriy etish real vaqt rejimida hisob-kitoblarni talab qiladi [5-9]. Bu hisob-kitoblar poezdning yo'l profili, ob-havo sharoiti va tarmoqning joriy holatini hisobga olgan holda bir necha kilometr oldindagi harakatini bashorat qila olishi kerak.

Ushbu tadqiqotning maqsadi rivojlangan davlatlarning ilg'or tajribasi asosida lokomotiv tortishni hisoblashning zamonaviy usullarini har tomonlama tahlil qilishdan iborat.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Poyezdlar tortishi va harakatini zamonaviy modellash tirish klassik Nyuton mexanikasidan tortib stoxastik ehtimollik algoritmlari va optimal boshqaruv tamoyillarigacha bo'lgan matematik modellarning murakkab ierarxiyasiga asoslanadi.

Har qanday poezd harakati simulyatorining (masalan, OpenTrack yoki RailSys) negizida yotadigan asosiy tamoyil Nyutonning ikkinchi qonunidir. Temir yo'l transporti kontekstida harakat tenglamasi poezd tezlanishini tortish (yoki tormozlash) kuchi va turli qarshilik kuchlarining o'zaro ta'siri natijasi sifatida tavsiflaydi. Asosiy differensial tenglama quyidagicha ko'rinishga ega:

$$M_{eff} \frac{dv}{dt} = F_T - W_{tot} \quad (2.1)$$

Bunda: M_{eff} — poezdning samarali (keltirilgan) massasi bo'lib, u ham statik massani (kilogramm yoki tonnada), ham aylanadigan qismlarning (g'ildirak juftliklari, tortish elektr dvigatellari rotorlari, tishli uzatmalar) inersiyasini o'z ichiga oladi. $\frac{dv}{dt}$ — poezd tezlanishi. F_T — lokomotiv tomonidan ishlab chiqariladigan umumiy tortish kuchi yoki tormozlash kuchi. W_{tot} — qarshilik kuchlarining umumiy yig'indisi, shu jumladan harakatga asosiy qarshilik, nishablikdan qarshilik (gravitatsion tashkil etuvchi) va egriliklar qarshiligi.

Qarshilik kuchlarini W_{tot} aniq baholash energiya iste'molini hisoblash uchun juda muhimdir. Bunday hisob-kitoblar uchun eng keng tarqalgan poydevor to'g'ri gorizontali yo'l uchastkasida poezd harakatiga qarshilikni approksimatsiya qilish uchun empirik ravishda ishlab chiqilgan Devis tenglamasi hisoblanadi. Klassik shaklda u tezlikka bog'liq kvadratik tenglamani ifodalaydi:

$$R = A + Bv + Cv^2 \quad (2.2)$$

Tortish xususiyatlari, qarshilik va yo'l profili doimiy ravishda o'zgarib turadiganligi sababli, poezdning harakat tenglamasi oddiy analitik yechimga ega emas. Harakat vaqtini (Running Time Calculation) hisoblash uchun sonli integrallash usullaridan foydalaniladi. Tarixan, simulyatorlar Eyler usuliga tayanishi mumkin edi, bu keyingi tezlikni oddiygina joriy tezlik plus tezlanishni vaqt qadamiga ko'paytmasi sifatida hisoblaydi. Biroq, Eyler usuli uzoq masofalarda va yo'l profilining keskin o'zgarishlarida katta xatoga yo'l qo'yadi.

Agar yuqori tezlikdagi yo'lovchi poezdlari uchun tarkibni moddiy nuqta yoki qattiq jism sifatida qarash mumkin bo'lsa, AQSH, Avstraliya va Xitoyga xos bo'lgan og'ir yuk poezdlari (Heavy Haul) uchun bu yondashuv halokatli xatolarga olib keladi. Og'ir vaznli poezd - bu yuzlab vagonlar va taqsimlangan lokomotivlardan tashkil

topgan, egiluvchan-ishqalanish elementlari - avtoulagichlar va yutuvchi apparatlar bilan bog'langan murakkab nohiziqli ko'p massali (multi-particle) tebranish tizimidir.

Xitoyda ushbu muammoni hal qilish uchun Davlat tortish kuchi kalit laboratoriyasi (State Key Laboratory of Traction Power) negizida TDEAS (Train Dynamics and Energy Analyser/Simulator) texnologiyasi ishlab chiqilgan [10-12]. i-vagon uchun bo'ylama dinamikaning matematik modeli barcha ta'sir etuvchi kuchlarni tahlil qilish orqali shakllantiriladi:

$$M_i \ddot{x}_i = F_{Ti} - F_{Di} + F_{Ci} - F_{C(i+1)} - F_{Bi} - W_i \quad (2.3)$$

Yutuvchi apparatlarning ilg'or ponasimon-prujinali modellariga alohida e'tibor qaratiladi, ular tezlikka bog'liq bo'lgan ishqalanish, erkin harakat, chegara qat'iyligi va dastlabki taranglikni hisobga oladi. Avtoulagichdagi kuch tenglamasi quyidagicha ko'rinishga ega:

$$F_c = F_s(x) \left[\frac{\tan(h)}{\tan(h) + \mu(v)} \right] \quad (2.4)$$

Bunda x — apparatning deformatsiyasi, h — pona burchagi, $\mu(v)$ — vagonlarning nisbiy tezligiga bog'liq bo'lgan ishqalanish koeffitsienti, F_s — prujina kuchi. Nolga teng nisbiy tezlikda matematik uzilishlarni bartaraf etish uchun yaxshilangan silliqlash yondashuvlari qo'llaniladi.

Rivojlangan davlatlar tajribasi

Yaponiya tajribasi. Shinkansen (Shinkansen) tarmog'i ishga tushirilgan 1964 yildan boshlab yuqori tezlikdagi yo'lovchi tashishga asosiy e'tiborni qaratdi. Yapon muhandislari birinchilardan bo'lib 250 km/soat dan yuqori tezlikda aerodinamik qarshilik energiyani dominant iste'molchisiga aylanishini tahlil qilindi [13-17]. Shu munosabat bilan lokomotiv tortishi to'liq motorli o'qlarga ega bo'lgan taqsimlangan motorvagonli tortishga almashtirildi, bu mavjud ilashishni oshirdi va og'ir tormoz reostatlaridan voz kechish imkonini berdi.

285-300 km/soat tezlikda harakatlanadigan zamonaviy seriyali poezdlar chuqur hisoblash optimallashtirishini o'zida mujassam etgan. Ular alyuminiy kuzovlar, takomillashtirilgan aravacha ramalari, inverterlar o'zgaruvchan tok dvigatellaridan foydalanadi. Asosiy yutuq yuqori samarali rekuperativ tormozlash paytida poezdning kinetik energiyasi qayta elektr energiyasiga aylanadi. Optimallashtirilgan aerodinamika, og'irlikni kamaytirish va rekuperatsiyaning kombinatsiyasi tufayli Tokio — Shin-Osaka yo'nalishidagi energiya iste'moli dastlabki seriyali poezdlarga nisbatan 32-49% ga kamaytirildi.

Xitoy tajribasi. Xitoy dunyodagi eng yirik yuqori tezlikdagi temir yo'llar tarmog'iga ega. Xorijiy texnologik platformalarga qaramlikni bartaraf etish uchun standartlashtirilgan elektropoezdlarning milliy platformasi yaratildi. 350 km/soat tezlikda harakatlanadigan poezd 40 000 dan ortiq butlovchi qismlardan iborat [18-24].

Xitoyning qarshilikni hisoblash maktabi 46 ta konseptual kuzov dizayni uchun aerodinamik quvurlarda keng ko'lamli sinovlar va hisoblash gidrodinamikasi hisob-kitoblarini qo'lladi. Natijada tanlangan bosh qism profili havo qarshiligini 12 foizga kamaytirishga imkon berdi va 100 yo'lovchi-kilometrga solishtirma energiya iste'moli 17-20 foizga qisqarib, atigi 3.8 kVt-soatni tashkil etdi. Pekin-Shanxay aylanma reysi miqyosida bu bitta poezd uchun 5 000 kVt-soatdan ko'proq energiyani tejaydi.

AQSH tajribasi (Og'ir vaznli harakat va LEADER algoritmlari). Osiyodan farqli o'laroq, AQSH temir yo'l tizimi o'ta og'ir va uzun yuk tashishlarga (30 000 – 40 000 tonnagacha) yo'naltirilgan. Bu yerdagi asosiy muammo



frontal aerodinamik qarshilik emas, balki tepalik relyefni yengishda yuzaga keladigan bo'ylama dinamik kuchlardir (in-train forces).

AQSHda LEADER (New York Air Brake ishlanmasi) va Trip Optimizer (GE Transportation / Wabtec ishlanmasi) kabi mashinistga yordam berish tizimlari ustunlik qiladi. LEADER (Locomotive Engineer Assist / Display & Event Recorder) bort simulyatori bo'lib, bir necha milya oldindagi bo'ylama kuchlarni baholash uchun real vaqtda yuqori aniqlikdagi raqamli yo'l xaritalari, poezd og'irligi va tarkibi haqidagi ma'lumotlardan foydalanadi [24-29].

Ushbu tizimlarning asosiy funktsionalligi taqsimlangan tortish rejimini boshqarish orqali amalga oshiriladi. Asinxron taqsimlangan quvvat algoritmlaridan foydalangan holda, tizim asosiy va yordamchi lokomotivlar o'rtasidagi tortish va rekuperativ (yoki dinamik) tormozlash talablaridagi farqni bashorat qiladi. Tekis uchastkalarda tizim yoqilg'ini tejash uchun ortiqcha lokomotivlarni salt ishlash rejimiga o'tkazishi mumkin, burilishlarda esa ulagichlar uzilishining oldini olish va bo'ylama cho'zilish kuchlarini kamaytirish uchun poezd dumi qismidagi lokomotivlarga ko'proq quvvat beradi. Union Pacific kompaniyasi ushbu texnologiyalarni muvaffaqiyatli integratsiya qildi; bir hisobot yilida Trip Optimizer bilan jihozlangan lokomotivlar poezd uzunligi, ob-havo sharoiti va yo'l holatini hisobga olgan holda boshqaruvchining optimal pozitsiyalarini hisoblab, 9,8 million milya masofani bosib o'tdi va bu dizel yoqilg'isi sarfini keskin qisqartirdi.

Germaniya va Yevropa tajribasi. Yevropada asosiy e'tibor mavjud liniyalardagi to'siqlarni o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish va xalqaro yo'nalishlarning uzluksizligiga qaratilmoqda. Ushbu muammoni hal qilish uchun Deutsche Bahn (DB) va Yevropa operatorlari OpenTrack, FBS va RailSys kabi dasturiy majmualaridan foydalanadilar. Obyektga yo'naltirilgan yondashuvga asoslangan OpenTrack tortishning har qanday turi uchun harakat va energiya iste'moli tenglamalarini yechadi, diskret va sirpanuvchi blok-uchastkalar ishlashini simulyatsiya qiladi hamda elektr tarmoqlari simulyatorlari bilan hamkorlik qiladi [30-34]. Hisoblashlarni taqqoslash shuni ko'rsatadiki, integratsiyalashgan algoritmlar eskirgan jadval tuzish tizimlariga nisbatan pog'onali va aniq energiya iste'moli grafiklarini beradi, ayniqsa og'ir yuk poezdlari Sharqiy Saksoniyaning tik qiyaliklarida quvvat chegarasida ishlaganda.

Energiya tejovchi "Green Wave" strategiyasini faol joriy etmoqda. Mintaqaviy poezdlar RESY dasturiy ta'minotiga ega telematik tizimlar bilan jihozlangan bo'lib, ular dispetcherlik markazlari ma'lumotlariga tayangan holda mashinistlarga nishabliklar yoki qizil signallar oldidan tortishni oldindan o'chirish bo'yicha tavsiyalar beradi. Bu orqali energiya ning 10% dan 13% gacha qismini tejaydi. Inson omilini istisno qilish poezdlar orasidagi intervallarni qisqartirishga va bitta yo'lda soatiga 24 ta poezd o'tkazish qobiliyatiga erishishga imkon berdi.

3. Xulosa

Germaniya, Yaponiya, AQSH, Xitoy va boshqa rivojlangan mamlakatlar tajribasi asosida poezdlarni lokomotivli tortishning zamonaviy hisoblash usullarini tahlil qilish temir yo'l muhandisligida paradigmaning o'zgarishi to'g'risida bir qator fundamental xulosalar chiqarishga imkon beradi:

Birinchidan, qarshilikni hisoblashning an'anaviy statik usullari (Devis kabi tenglamalar) va tayanch kinematika algoritmlari o'z o'rnini murakkab ko'p massali dinamik modellar va yuqori tartibli sonli integrallash usullariga bo'shatib berdi. Bo'ylama kuchlarni va avtoulagichlarga ta'sirini hisoblash orqali modellashtirish (TDEAS, LEADER, Trip Optimizer tizimlari) xavfsizlikni ta'minlash va infratuzilmaning yemirilishini minimallashtirish uchun ajralmas vositaga aylandi, xususan AQSH va Xitoydagi o'ta og'ir yuk poezdlari segmentida.

Ikkinchidan, tortish hisob-kitoblarning diqqat markazi lokomotivning tarkibini "torta olish" qobiliyatini oddiygina aniqlashdan tortib, global energetik optimallashtirishga o'tdi. Kuzovlarni aerodinamik jihatdan takomillashtirish (Xitoy Fuxing poezdlarida bo'lgani kabi) va rekuperatsiya tizimlarini keng miqyosda joriy etish (Yaponiyadagi N700 Shinkansen seriyasi) bilan birlashgan holda Pontryaginning maksimum tamoyilining amaliy qo'llanilishi (tortish va vibeg fazalarini hisoblash) o'tgan o'n yilliklar modellariga nisbatan 30% dan 50% gacha energiya tejash imkonini beradi.

Uchinchidan, matematik modellashtirish tarmoq trafignini uzluksiz boshqarishning asosi bo'ldi. Yevropaning ETCS standarti doirasida tormoz egri chiziqlarini hisoblash uchun ehtimollikdagi Monte-Karlo usullarini joriy etish, elektr tarmoqlari simulyatsiyalarini poezdlar harakati bilan integratsiyalash va avtomatik boshqarish (ATO) tizimlarini ishlab chiqish yangi yo'llarni qurmasdan mavjud liniyalarning o'tkazuvchanlik qobiliyatini tubdan oshirish imkonini beradi.

Uglerodsiz iqtisodiyotga o'tish sharoitida intellektual bort hisoblash majmualari va dispetcherlik simulyatorlari (OpenTrack va RailSys kabi) endi faqat loyihachilarning yordamchi vositalari bo'lib qolmaydi. Ular bevosita harakatni boshqarish jarayonlariga integratsiyalanib, temir yo'lni yagona, raqamli va maksimal darajada energiya tejaydigan kiberfizik organizmga aylantirmoqda. Rivojlangan mamlakatlar tajribasi global miqyosda transport tizimlarini barqaror rivojlantirish uchun moslashishi zarur bo'lgan tayyor metodologik (matematik) va amaliy yechimlar jamlanmasini taqdim etadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Contribution to Global Environment Preservation | Central Japan Railway Company, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://global.jr-central.co.jp/en/company/environment/contribution.html>
- [2] EFFECTS OF AUTOMATION IN RAILWAY ON THE CAPACITY - Diva-Portal.org, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1777801/FULLTEXT01.pdf>
- [3] Rolling Resistance Revisited - ROSA P - BTS.gov, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/79083>
- [4] Rail vehicle resistance - Wikipedia, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Rail_vehicle_resistance
- [5] Full article: A method to numerically assess rail vehicle rolling resistance on tangent and curved tracks - Taylor & Francis, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00423114.2026.2615792>



- [6] Research on Longitudinal Dynamics of 20,000-Ton Heavy Haul Trains Considering Braking Characteristics - MDPI, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.mdpi.com/2227-7390/14/1/158>
- [7] ETCS braking curves | Calculation with Monte Carlo method - Knorr-Bremse Rail Vehicle Systems, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://rail.knorr-bremse.com/en/us/stories/technical-articles/monte-carlo-analysis.json>
- [8] LEADER® | New York Air Brake, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.nyab.com/en/products/nyab-products/rail-services/leader/>
- [9] Braking curves - European Union Agency for Railways (ERA), дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.era.europa.eu/domains/european-rail-traffic-management-system/braking-curves>
- [10] IET 13th Professional Development Course on Electric Traction Systems: The calculation of train performance, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://digital-library.theiet.org/doi/pdf/10.1049/cp.2014.1431?download=true>
- [11] Optimization of a Model for Studying the Traction Force of a Train - AIP Publishing, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://pubs.aip.org/aip/acp/article-pdf/doi/10.1063/5.0247254/20461172/050007_1_5.0247254.pdf
- [12] A Survey of Wheel/Rail Friction - Federal Railroad Administration, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/17468/A%20Survey%20of%20Wheel-Rail%20Friction.pdf
- [13] Environment - JR East Group Report INTEGRATED REPORT 2022, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://www.jreast.co.jp/e/environment/pdf_2022/p048-061.pdf
- [14] Tractive effort - Wikipedia, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Tractive_effort
- [15] Physics | Resistance Calculation - Coals to Newcastle, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://www.coalstonewcastle.com.au/physics/resistance-fcalc/>
- [16] Rolling Resistance Revisted - ROSA P, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/79083/dot_79083_DS1.pdf
- [17] What is the Davis Equation and why is it used in a Train Simulator?, дата последнего обращения: июня 8, 2026, <https://physics.stackexchange.com/questions/387637/what-is-the-davis-equation-and-why-is-it-used-in-a-train-simulator>
- [18] The Application of the Davis Formula to set Default Train Resistance in Open Rails - Elvas Tower, дата последнего обращения: июня 8, 2026, http://www.elvastower.com/forums/index.php?app=core&module=attach&ion=attach&attach_id=82501
- [19] Numerical integration | OSRD, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://osrd.fr/en/docs/explanation/running_time_calculation/numerical_integration/
- [20] Runge-Kutta Methods - MIT, дата последнего обращения: июня 8, 2026, https://web.mit.edu/10.001/Web/Course_Notes/Differential_Equations_Notes/node5.html
- [21] Abdurasulov S. et al. Structural strength evaluation of the main frame in the PE2U industrial traction unit control electric locomotive //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – Т. 3447. – №. 1. – С. 070005.
- [22] Yusufov A., Taiwan Y. Service life extension through retrofit of the TEM2 shunting locomotive bogie frame //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – Т. 3447. – №. 1. – С. 070008.
- [23] Yusufov A. et al. Modernization strategies for the main frame structure of TEM2 shunting locomotives to prolong service life //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2026. – Т. 3447. – №. 1. – С. 070007.
- [24] Raxmiddinov I. et al. Experimental and finite element analysis of the structural durability of special self-propelled rolling stock frames //Vibroengineering Procedia. – 2025. – Т. 60. – С. 186-192.
- [25] Abdurasulov S. et al. Evaluation of mean stress under load cycle of PE2M (U) industrial traction unit motorized dumpcar underframe using finite element method //Vibroengineering Procedia. – 2025. – Т. 60. – С. 731-737.
- [26] Kosimov K., et al. Experimental evaluation of residual deflection and structural stiffness of the UzTE16M locomotive frame under static loading conditions //Vibroengineering Procedia. – 2025. – Т. 60. – С. 579-585.
- [27] Kudratov S. et al. Diesel locomotives-Fault analysis and problem solving //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3256. – №. 1. – С. 060013.
- [28] Yusufov A. Reliability analysis of asynchronous traction electric motors of O'Z-EL series locomotives and ways to improve their operational reliability //Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 65-69.
- [29] Jamilov S. et al. Research of Factors Affecting the Heating and Cooling of Locomotive Traction Electric Machines //ICTEA: International Conference on Thermal Engineering. – 2024. – Т. 1. – №. 1.
- [30] Yusufov A. Analysis of the state and prospects for the development of the locomotive fleet JSC "O'zbekiston temir yo'llari" //Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 16-21.
- [31] Abdurasulov S. X. et al. O'zbekiston respublikasi tog'- kon sanoatida foydalanilayotgan tortish agregatlari parkining tahlili //Academic research in educational sciences. – 2023. – Т. 4. – №. 8. – С. 146-157.
- [32] Кодиров Н. С. и др. Разработка метода для определения динамической нагруженности узлов подвижного состава с применением неразрушающего контроля //Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в. – 2022. – С. 98.
- [33] Хамидов О. Р. и др. Оценка средних напряжений цикла в несущих рамах тепловозов на основе, конечно-элементного, расчета от статических нагрузок //Academic research in modern science. – 2022. – Т. 1. – №. 9. – С. 118-124.
- [34] Абдурашулов Ш. Х. и др. Вестник транспорта поволжья //вестник транспорта поволжья Учредители: Приволжский государственный университет путей сообщения. – №. 1. – С. 7-11.



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

Abdullayev Toshkent davlat transport
Nusratillo / universiteti, "Lokomotivlar va
Nusratillo lokomotiv xo'jaligi" kafedrası
Abdullaev dotsenti
E-mail:
abdullayevnusratillo1505@gmail.com

Tel.: +99894 308 88 08
<https://orcid.org/0009-0008-9288-7329>



Theoretical basis for the calculation of basalt fiber dispersed reinforced structures

S.J. Razzakov¹, Sh.Kh. Nuriddinova¹

¹Namangan state technical university, Namangan, Uzbekistan

Abstract: This article presents the theoretical basis for calculating basalt fiber dispersed-reinforced concrete structures. The study analyzes the specific features of basalt-fiber-reinforced concrete beams and the influence of fiber content, fiber length, fiber orientation, concrete class and service-condition coefficients on design resistance. The main calculation expressions for tensile resistance, compressive resistance and the strength assessment of rectangular flexural elements are summarized. Methods for determining compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength of basalt-fiber concrete specimens are also considered. The results indicate that basalt fibers mainly improve crack resistance, tensile behavior, flexural performance and post-cracking load-carrying capacity, thereby increasing the reliability and durability of concrete structures.

Keywords: basalt fiber, dispersed reinforcement, fiber-reinforced concrete, reinforced concrete structure, compressive strength, tensile strength, flexural strength, crack resistance, design resistance

Bazalt tolali dispers armaturalangan konstruksiyalarni hisoblashning nazariy asoslari

Razzakov S.J.¹, Nuriddinova Sh.X.¹

¹Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada bazalt tolali dispers armaturalangan fibrotemirbeton konstruksiyalarni hisoblashning nazariy asoslari hamda ularning siqilish, cho'zilish va egilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichlarini baholash usullari yoritilgan. Tadqiqotda bazalt tolalar bilan kuchaytirilgan betonning oddiy betonga nisbatan mexanik xossalari, jumladan siqilishga chidamliligi, yorilishdagi cho'zilish mustahkamligi va egilishdagi ishlash xususiyatlari tahlil qilinadi. Bazalt tolalar beton hajmi bo'ylab dispers tarzda taqsimlanib, mikro va makro darzlarning rivojlanishini cheklashi, konstruksiyaning darzga chidamliligi hamda ekspluatatsion ishonchligini oshirishi ko'rsatib berilgan. Maqolada fibrobetonning hisobiy qarshiliklarini aniqlashda tolaning miqdori, uzunligi, yo'nalishi, beton sinfi va ish sharoiti koeffitsientlari hisobga olinadi.

Kalit so'zlar: bazalt tola, dispers armaturalash, fibrotemirbeton, fibrobeton, temirbeton konstruksiya, siqilishga mustahkamlik, cho'zilish mustahkamligi, egilishdagi mustahkamlik, darzga chidamlilik, hisobiy qarshilik

1. Kirish

Mamlakatimiz hududida zamonaviy gidrotexnika inshootlarini Bugungi kunda qurilish sohasida yuqori mustahkamlikka, uzoq muddatli xizmat qilish qobiliyatiga va ekologik jihatdan samarali xususiyatlarga ega bo'lgan yangi kompozitsion materiallardan foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ayniqsa, beton va temirbeton konstruksiyalarning darzga chidamliligini oshirish, ularning deformatsiyalanish xususiyatlarini yaxshilash hamda ekspluatatsiya davridagi ishonchligini ta'minlash dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Dispers armaturalangan betonlarda tolalar beton hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlanadi va konstruksiya ichida paydo bo'ladigan mikro hamda makro darzlarning rivojlanishini cheklaydi. Bunday armaturalash usuli oddiy betonning cho'zilish va egilishdagi mo'rt sinish xususiyatini kamaytiradi. Natijada beton elementlar darz hosil

bo'lgandan keyin ham ma'lum darajada yuk ko'tarish qobiliyatini saqlab qoladi.

So'nggi yillarda qurilish materiallari orasida bazalt tolalar alohida o'rin egallamoqda. Bazalt tola tabiiy bazalt jinslaridan olinadigan, yuqori mustahkamlikka, issiqlikka chidamlilikka, kimyoviy barqarorlikka va ekologik xavfsizlikka ega bo'lgan material hisoblanadi. Ushbu tolalar beton tarkibiga qo'shilganda uning cho'zilish, egilish va darzga chidamlilik ko'rsatkichlariga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Bazalt tolali temirbeton konstruksiyalarni hisoblash oddiy temirbeton elementlarni hisoblashdan ma'lum darajada farq qiladi. Chunki bunday konstruksiyalarda beton matrasi bilan bir qatorda tolalarning hajmiy miqdori, uzunligi, yo'nalishi, beton bilan bog'lanish darajasi hamda ish sharoiti koeffitsientlari ham hisobga olinadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Fibrotremirbeton to'sinlarning hisoblash usullari tahlil qilindi. Egiluvchi bazalt tolali temirbeton konstruksiyalarga oid eksperimental va nazariy tadqiqotlar asosida hisobiy ifodalar umumlashirildi.

Bazalt tolalar bilan kuchaytirilgan temirbeton to'sinlarni hisoblash oddiy temirbeton to'sinlarni hisoblash usullaridan farq qiladi. Bazalt tolali beton konstruksiyalar mustahkamligini tahlil qilishda tolalar elementning butun kesimi yoki hajmi bo'ylab teng taqsimlangan deb qabul qilinadi.

Bazalt tolali fibrotremirbetonning cho'zilishdagi qarshiligi R_{fb} beton sinfiga, tolaning miqdori, turi va o'lchamiga bog'liq holda belgilanadi. R_{fb} ning qiymati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$R_{fb} = m_1 \cdot \mu_f \cdot R_f \cdot k_l \cdot \gamma_{fb} \cdot k_{or} \quad (1)$$

Bu yerda: m_1 - beton matritsasining tolali temirbeton mustahkamligini hisobga oluvchi koeffitsient; μ_f - hajmi bo'yicha tolalar bilan armaturalash koeffitsienti; R_f - fibrobetonning hisobiy qarshiligi; k_l - tolalar uzunligini hisobga oladigan koeffitsient; γ_{fb} - ish sharoiti koeffitsienti; k_{or} - element hajmida tolalar yo'nalishini hisobga oladigan koeffitsient. Bunda $\mu_f > \mu_{cr}$ sharti bajarilishi kerak, μ_{cr} - tolaning kritik foizi.

Element hajmida tolalar yo'nalishini hisobga oluvchi k_{or} koeffitsienti

10 mm $\leq \delta \leq 15$ mm da $k_{or} = 0,37$;

15 mm $< \delta \leq 25$ mm da $k_{or} = 0,35$;

25 mm $< \delta \leq 30$ mm da $k_{or} = 0,32$;

Tolalarning uzunligini hisobga oladigan koeffitsient k_l quyidagi shart asosida olinadi.

Tola uzunligi 60 mm bo'lganda $k_l = 0,95$; tola uzunligi 40 mm bo'lganda $k_l = 0,9$; tola uzunligi 20 mm bo'lganda $k_l = 0,85$; tola uzunligi 10 mm bo'lganda $k_l = 0,70$.

Bazalt tolali fibrobetonning siqilishga bo'lgan hisobiy qarshiligi R_{fb} quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$R_{fb} = \gamma_{fb2} \cdot R_b \quad (2)$$

Bu yerda γ_{fb2} - ish sharoiti koeffitsienti bo'lib, tolalarning hajmiy miqdoriga bog'liq holda qabul qilinadi.

$\mu_{cr} < \mu < 1,5\%$ da $\gamma_{fb2} = 1$

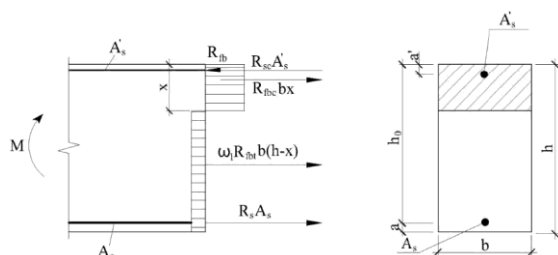
$1,5\% < \mu < 2,5\%$ da $\gamma_{fb2} = 2,5$

$\mu > 2,5\%$ da $\gamma_{fb2} = 0,95$

To'g'ri to'rtburchak kesimli bazalt tolali egiluvchi fibrotremirbeton elementlarning mustahkamligi quyidagi shartlar asosida baholanadi:

$$h > 5b_f \text{ da } \omega I = 0,5 + 2,5 R_{fb} / R_b \quad (3)$$

$$h \leq 5b_f \text{ da } \omega I = 0,5 + 1,5 R_{fb} / R_b \quad (4)$$



1-rasm. Ishchi armaturali egiluvchi bazalt tolali fibrotremirbeton elementni mustahkamlikka hisoblashda normal kesimdagi yuklanish sxemasi va kuchlanish epyurasi

Deformatsion va kirishish ko'rsatkichlarini baholash metodikasi

Bazalt tolali fibrobetonning ishlash xususiyatlarini to'liqroq baholash uchun mustahkamlik ko'rsatkichlari bilan birga deformatsiya moduli, chegaraviy siqiluvchanlik va kirishish deformatsiyasi ham tahlil qilindi. Sinovlarda bazalt tolalar bilan dispers armaturalangan namunalar hamda nazorat sifatida B25 klassdagi og'ir beton namunalarining natijalari o'zaro taqqoslandi. Namunalarning 28, 60, 90, 180 va 360 sutkalik qotish muddatlaridagi o'zgarishlari materialning vaqt bo'yicha strukturaviy barqarorlashuvini aniqlash imkonini berdi.

Deformatsiya modulini aniqlashda namunalar siqilishdagi yuklanish ostida tekshirilib, betonning yoshi, qotish muhiti, harorat-namlik rejimi, sement toshi va to'ldiruvchilar orasidagi kontakt zona holati hamda tolalarning hajm bo'yicha tarqalish darajasi hisobga olindi. Bazalt tola beton matritsasida mikroarmaturalovchi element sifatida ishlashi sababli, baholashda faqat yakuniy mustahkamlik emas, balki yuk ta'sirida deformatsiyaning shakllanish xarakteri ham e'tiborga olindi.

Hisoblashlarda bazalt tolali betonning deformatsiya modulini quyidagi umumlashirilgan ifoda orqali baholash mumkin:

$$E_B = 3130 \cdot \rho \cdot \sqrt[3]{R} \cdot \beta_B \quad (10)$$

bu yerda ρ - betonning o'rtacha zichligi, t/m³; R - betonning kubik mustahkamligi, MPa; β_B - bazalt tola qo'shilishi natijasida mustahkamlik o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsient.

Chegaraviy siqiluvchanlikni tahlil qilishda umumiy deformatsiyalar elastik va noelastik qismlarga ajratildi. Elastik qism yuklama olib tashlangandan keyin qisman tiklanadigan deformatsiyani, noelastik qism esa sement toshi, kontakt zonalar va mikrostruktura darajasida yuzaga keladigan qaytmas o'zgarishlarni ifodalaydi. Shu yondashuv betonning buzilish bosqichiga yaqinlashish jarayonini aniqroq baholashga xizmat qiladi.

Kirishish deformatsiyasini o'rganishda esa namunalar atrof-muhit harorati va nisbiy namlikning o'zgarishi bilan bog'liq holda kuzatildi. Dastlabki davrda beton tarkibidagi namlik yuqori bo'lgani sababli hajmiy o'zgarishlar nisbatan sekin kechadi, keyinchalik namlik almashinuvi va sement toshining zichlashuvi hisobiga kirishish jarayoni faollashadi. Shu sababli uzoq muddatli hisoblarda 55-60 sutkalik boshlang'ich bosqich hamda 360 sutkagacha davom etuvchi sekin deformatsiyalanish davri alohida e'tiborga olindi.

3. Natija va muhokamalar

Bazalt tola qo'shilgan beton mustahkamligini aniqlash uchun tomonlari 100 mm bo'lgan kub namunalar tayyorlanib, turli muddatlarda ularning siqilishga va cho'zilishga mustahkamliklari aniqlanadi. Sinov uchun ikki xil namuna qabul qilinadi: bazalt tola qo'shilgan beton kublar va nazorat sifatida bazalt tola qo'shilmagan beton kublar.

Vaqt mobaynida bazalt tola qo'shilgan beton mustahkamligining o'zgarish xarakterini aniqlash uchun sinovlar 28, 90, 180 va 360 sutkalik muddatlarda o'tkaziladi. Natijalarga ko'ra, bazalt tola qo'shilgan beton mustahkamligining eng tez o'sishi 28 kungacha bo'lgan davrda kuzatiladi. Keyingi muddatlarda ham bazalt tolali namunalar mustahkamligi nazorat namunalariga nisbatan yuqoriroq bo'lishi mumkin.



Tahlil natijalariga ko'ra, sinov uslubidan qat'i nazar, bazalt tola qo'shilgan betonning siqilishga mustahkamligi oddiy betonga nisbatan o'rta 30-40% yuqoriroq bo'lishi kuzatiladi. Biroq bazalt tolaning asosiy samarasi siqilishda emas, balki cho'zilish, egilish va darzga chidamlilikda kuchliroq namoyon bo'ladi.

Bazalt tolali dispers armaturalangan konstruksiyalarning mustahkamligini baholashda birinchi navbatda betonning asosiy mexanik ko'rsatkichlari aniqlanadi. Bular: siqilishga mustahkamlik, yorilishdagi cho'zilish mustahkamligi va egilishdagi mustahkamlikdir.

Betonning siqilishga mustahkamligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$R_b = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Bu yerda: R_b — betonning siqilishga mustahkamligi, MPa;

P — namunani buzuvchi maksimal kuch, N;

A — namunaning siqilayotgan yuzasi, mm².

Agar namuna kub shaklida bo'lsa, yuzasi quyidagicha olinadi:

$$A = a \times a = a^2$$

Bu yerda a — kub tomonining uzunligi, mm.

Masalan, $100 \times 100 \times 100$ mm o'lchamdagi kub namunada siqilayotgan yuza:

$$A = 100 \times 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

Agar sinov vaqtida maksimal buzuvchi kuch 350 000 N bo'lsa:

$$R_b = \frac{P}{A} = \frac{350000}{10000} = 35 \text{ MPa}$$

Yorilishdagi cho'zilish mustahkamligi silindrik namunani yorib sinash usuli orqali aniqlanadi. Bu usulda silindrik namuna yon tomondan bosiladi va diametri bo'ylab yorilish yuzaga keladi.

$$R_{bt} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (6)$$

Bu yerda R_{bt} - yorilishdagi cho'zilish mustahkamligi, MPa;

P — maksimal buzuvchi yuk, N;

L — silindr uzunligi, mm;

D — silindr diametri, mm;

π — 3,14

Egilishdagi mustahkamlik bazalt tolali betonlar uchun muhim ko'rsatkichlardan biridir. Plitalar, balkalar, sanoat pollari, yo'l qoplamalari va panellar ekspluatatsiya jarayonida egilish ta'sirida ishlaydi.

$$R_f = \frac{PL}{bd^2} \quad (7)$$

Bu yerda R_f - egilishdagi mustahkamlik, MPa;

P — buzuvchi maksimal yuk, N;

L — tayanchlar oralig'i, mm;

b — namuna eni, mm;

d — namuna balandligi, mm.

Bazalt tolali betonlarda egilishdagi mustahkamlikni baholashda faqat maksimal yuk emas, balki darz paydo bo'lgandan keyingi ishlash holati ham muhimdir.

$$\Delta R_{bf} = \frac{R_{bf} - R_0}{R_0} \times 100\% \quad (8)$$

Bu yerda ΔR_{bf} - mustahkamlikning o'sish foizi, %; R_{bf} - bazalt tolali beton mustahkamligi, MPa; R_0 - nazorat beton mustahkamligi, MPa. Masalan, oddiy betonning egilishdagi

mustahkamligi 4,5 MPa, 0,3% bazalt tola qo'shilgan betonning egilishdagi mustahkamligi 5,8 MPa bo'lsa,

$$\Delta R_{bf} = \frac{5.8 - 4.5}{4.5} \times 100 = 28.9\% \quad (9)$$

Demak, bazalt tola qo'shilishi natijasida egilishdagi mustahkamlik taxminan 28,9% ga oshgan bo'ladi

Deformatsiya moduli va chegaraviy siqiluvchanlik natijalari

Tajriba natijalari bazalt tolalar qo'shilgan betonlarda deformatsiya modulining shakllanishi qotish jarayoni bilan bevosita bog'liq ekanini ko'rsatdi. 28 sutkalik namunalar orasida eng yuqori qiymatlar dispers armaturalangan tarkiblarda qayd etildi. 90 sutkalik sinovlarda esa bazalt tolali betonning deformatsiya moduli 28 sutkalik ko'rsatkichga nisbatan taxminan 18 % ga oshgani aniqlandi. Nazorat namunalarida bunday sezilarli o'sish kuzatilmadi.

Ushbu farq bazalt tolalarning beton ichki tuzilmasida hosil bo'ladigan bog'lanishlarga ijobiy ta'siri bilan izohlanadi. Qotish davomida sement toshi zichlashadi, to'ldiruvchilar bilan matritsa orasidagi tutashuv zonasi mustahkamlanadi, tolalar esa mikro yoriqlarning kengayishini cheklab, yuklama ostidagi deformatsiyalarni barqarorroq taqsimlaydi. Shuning uchun uzoqroq muddatlarda bazalt tolali betonning bikrligi va elastik-deformatsion barqarorligi oddiy betonga nisbatan aniqroq namoyon bo'ladi.

Siqilishga mustahkamligi 24 MPa atrofida bo'lgan namunalar tahlili deformatsiya modulining ortishi sinov sharoiti, beton tarkibi va tolalar miqdoriga qarab 23 %, 14 % hamda 10 % atrofida o'zgarishini ko'rsatdi. Bu holat bazalt tolalar betonning faqat mustahkamlik darajasini emas, balki deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini ham yaxshilashini tasdiqlaydi.

1-jadval

B25 klassdagi betonlarda chegaraviy siqiluvchanlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi

Muddat, sutka	Bazalt tolali fibrobeton	B25 og'ir beton
28	186	192
60	192	200
90	199	209
180	216	227
360	225	237

Jadvaldan ko'rinadiki, beton yoshi oshgani sari har ikkala turdagi namunada ham chegaraviy siqiluvchanlik bosqichma-bosqich ortib boradi. Bazalt tolali fibrobetonda bu ko'rsatkich 28 sutkada 186 dan 360 sutkada 225 gacha, B25 klassdagi og'ir betonda esa 192 dan 237 gacha ko'tarilgan. Tolali betonlarda qiymatlarning nisbatan pastroq diapazonda shakllanishi materialning bikirroq ishlashi va ichki deformatsiyalarning tolalar orqali barqarorroq taqsimlanishi bilan bog'liq.

Boshlang'ich deformatsiya moduli, siqilishdagi mustahkamlik va chegaraviy siqiluvchanlik mustaqil ko'rsatkichlar emas, balki betonning umumiy strukturaviy holatini ifodalovchi o'zaro bog'langan kattaliklar sifatida qaraladi. Shu sababli bazalt tolali fibrobeton konstruksiyalarni baholashda maksimal yuk ko'tarish qobiliyati bilan birga deformatsiyalanish xarakterini ham hisobga olish maqsadga muvofiqdir.



Chegaraviy siqiluvchanlik bilan beton mustahkamligi o'rtasidagi bog'liqlik quyidagi ifoda asosida baholandi:

$$\varepsilon_b \cdot 10^{-3} = 36,1 \cdot \sqrt[3]{R^2} \quad (11)$$

bu yerda R - yuklama qo'yilgan vaqtdagi betonning kubik mustahkamligi, MPa. Nazariy hisoblar tajribaviy qiymatlarga yaqin bo'lib, ular orasidagi nisbat 1,05 atrofida bo'lgani ushbu ifodani amaliy hisoblarda qo'llash mumkinligini ko'rsatadi.

Kirishish deformatsiyasi natijalari

Kuzatuvlar shuni ko'rsatdiki, bazalt tolali betonlarda kirishish va temperaturaviy deformatsiyalar atrof-muhit harorati hamda nisbiy namlikka sezilarli darajada bog'liq. Harorat ko'tarilib, nisbiy namlik kamayganda beton tarkibidagi namlik almashinuvi jadallashadi va hajmiy o'zgarishlar kuchayadi. Bu jarayon doimiy emas, balki mavsumiy harorat-namlik tebranishlari ta'sirida o'zgarib boradi.

Beton tayyorlangandan keyingi dastlabki uch oyda temperaturaviy deformatsiyalar nisbatan kichik bo'lib, bu davrda namunalarda boshlang'ich namlik miqdori yuqori saqlanadi. Bahor-yoz davrida harorat oshishi bilan dastlab kengayish deformatsiyasi ortadi, keyinchalik namlikning kamayishi va kirishishning faollashuvi sababli umumiy deformatsiya qiymati pasayadi. Tajriba kuzatuvlarida temperaturaviy deformatsiyaning kamayishi taxminan $49 \cdot 10^{-5}$ darajasida baholandi.

Kuz-qish mavsumida esa tashqi muhit namligi oshishi natijasida beton tarkibida namlik almashinuvi kuchayadi va ayrim hollarda ko'pchilik deformatsiyasi kuzatiladi. Normal sharoitlarda bazalt tolali betonning yoz oylaridagi temperaturaviy kengayishi $20 \cdot 10^{-5}$ gacha, qish davridagi minimal qiymati esa taxminan $5 \cdot 10^{-5}$ atrofida bo'lishi mumkin.

Saqlash sharoiti ham kirishish deformatsiyasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Yoz oylarida bazalt tolali betonlarning qisqarish deformatsiyasi bazalt tolasiz betonlarga nisbatan taxminan 20 % yuqoriroq bo'lishi mumkin. Bunda tolalarning sement matritsasi bilan o'zaro ta'siri, namlikning bug'lanishi va material ichki tuzilmasining qayta shakllanishi asosiy omillar sifatida namoyon bo'ladi.

Normal muhitda bazalt tolali beton uchun kirishish deformatsiyasining me'yoriy qiymati $\varepsilon_{cs} = 90 \cdot 10^{-5}$, temperaturaviy kirishish koeffitsienti esa $\alpha_{cs} = 2,0 \cdot 10^{-5}$ deb qabul qilinadi. Ikkinchi yoz mavsumida kirishish deformatsiyasi birinchi mavsumga nisbatan 8-15 % gacha ortishi mumkinligi beton ichida uzoq davom etuvchi namlik almashinuvi va mikrostrukturaviy zichlashuv jarayonlari bilan izohlanadi.

Kirishish deformatsiyasining eng jadal rivojlanishi odatda dastlabki 55-60 sutka oralig'ida kuzatiladi. Keyingi davrda jarayon sekinlashadi, biroq to'liq barqarorlashish uzoq muddat talab etadi va ayrim namunalar bo'yicha sekin o'sish 360 sutkagacha davom etishi mumkin. Shu sababli muhandislik hisoblarida bazalt tolali betonning uzoq muddatli kirishish deformatsiyasi uchun $\varepsilon_{cs} = 92 \cdot 10^{-5}$ qiymatini qabul qilish maqsadga muvofiq.

4. Xulosa

1. Hisoblashda tolaning hajmiy miqdori, uzunligi, yo'nalishi, beton sinfi va ish sharoiti koeffitsientlarini hisobga olish zarur.

2. Bazalt tolalar beton hajmi bo'ylab tarqalib, mikro va makro darzlarning rivojlanishini cheklaydi hamda

elementlarning darzga chidamliligi va ekspluatatsion ishonchligini oshiradi.

3. Bazalt tola qo'shilgan betonlarda siqilishga mustahkamlik oddiy betonga nisbatan oshishi mumkin, ammo asosiy samaradorlik cho'zilish, egilish va post-darzlantirish bosqichidagi qoldiq yuk ko'tarish qobiliyatida namoyon bo'ladi.

4. Keltirilgan hisobiy formulalar bazalt tolali fibrobetonning cho'zilishdagi qarshiligi, siqilishdagi qarshiligi va egiluvchi elementlarning mustahkamligini baholash uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

5. Deformatsiya moduli, siqilishdagi mustahkamlik va chegaraviy siqiluvchanlik ko'rsatkichlarini birgalikda tahlil qilish bazalt tolali fibrobetonning bikrligi hamda yuk ostidagi deformatsion barqarorligini baholash imkonini beradi.

6. Kirishish deformatsiyasi harorat-namlik sharoiti va beton yoshiga bog'liq bo'lib, uzoq muddatli hisoblarda bazalt tolali beton uchun $\varepsilon_{cs} = 92 \cdot 10^{-5}$ qiymatini qabul qilish tavsiya etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Воронцова Н. С. “Напряженно-деформированное состояние и прочность косонизгибаемых фиброармированных элементов”, диссертация, Санкт-Петербург – 2019.

[2] Li Z. et al. Performance attenuation and mechanism of basalt-fibre-reinforced concrete under fatigue load and freeze-thaw cycles //International Journal of Pavement Engineering. – 2023. – T. 24. – №. 2. – C. 2032700.

[3] Xie L. et al. Effects of nano-silica on fracture properties and mechanism analysis of basalt fiber reinforced concrete //Construction and Building Materials. – 2024. – T. 439. – C. 137375

[4] Королько С., Сердюк Б. Nanomodified rapid hardening concretes reinforced with dispersed basaltic fibers //Військово-технічний збірник. – 2021. – №. 24. – C. 57-63.

[5] Hu Y. et al. The Improving Role of Basalt Fiber on the Sulfate-Chloride Multiple Induced Degradation of Cast-In-Situ Concrete //Materials. – 2024. – T. 17. – №. 18. – C. 4454.

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

Razzakov Sobirjon / Sobirjon Razzakov
Namangan davlat texnika universiteti, “Bino va inshootlar qurilishi kafedrası” t.f.d., professor
E-mail: ochulponov1984@gmail.com,
Tel.: +99890-741-04-22

Nuriddinova Shoir / Shoir Nuriddinova
Namangan davlat texnika universiteti, “Bino va inshootlar qurilishi kafedrası” kafedrası magistranti
E-mail: nuriddinovashoir16@gmail.com,
Tel.: +998 94-843-01-16



Development of the transport sector within the framework of the Uzbekistan–2030 strategy: Achieved results and new objectives

R.I. Hakimov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the development of Uzbekistan's transport sector within the framework of the updated Uzbekistan–2030 Strategy, highlighting the major achievements of recent reforms and the new strategic objectives set for 2030. The study analyzes the growth of transport services, the modernization of road, public, railway, and aviation infrastructure, and the expansion of private sector participation. Significant improvements in international freight transportation, public transport efficiency, railway electrification, metro development, and aviation liberalization are discussed based on recent statistical indicators. The article also outlines measurable target indicators for the transport sector, including increasing transport service volumes, expanding transit freight capacity, improving public transport coverage, modernizing vehicle fleets, and enhancing railway and aviation infrastructure. The findings demonstrate that the implemented reforms have substantially strengthened the competitiveness and sustainability of Uzbekistan's transport system, while the updated strategy provides a comprehensive framework for further modernization, regional connectivity, and integration into international transport networks.

Keywords: Uzbekistan–2030 Strategy, transport sector, transport infrastructure, logistics, public transport, railway transport, aviation, transit transportation, transport services, sustainable development

O'zbekiston–2030 strategiyasi doirasida transport sohasini rivojlantirish: Erishilgan natijalar va yangi maqsadlar

Hakimov R.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada yangilangan “O'zbekiston–2030” strategiyasi doirasida transport sohasini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari, amalga oshirilgan islohotlar natijalari hamda 2030 yilgacha belgilangan yangi maqsadlar tahlil qilingan. Unda transport xizmatlari hajmining o'sishi, avtomobil, jamoat transporti, temir yo'l va aviatsiya infratuzilmasining modernizatsiyasi hamda xususiy sektor ishtirokining kengayishi yoritilgan. So'nggi yillarda xalqaro yuk tashuvlari, jamoat transporti sifati, temir yo'llarni elektrlashtirish, metropoliten va aviatsiya tizimidagi rivojlanishlar statistik ma'lumotlar asosida baholangan. Shuningdek, transport xizmatlari hajmini oshirish, tranzit tashuvlarini kengaytirish, jamoat transporti qamrovini to'liq ta'minlash, zamonaviy transport vositalari sonini ko'paytirish hamda temir yo'l va aviatsiya infratuzilmasini yanada rivojlantirishga qaratilgan maqsadli ko'rsatkichlar keltirilgan. Tadqiqot natijalari transport sohasidagi islohotlar mamlakatning logistika salohiyati va xalqaro transport tizimidagi raqobatbardoshligini mustahkamlashga xizmat qilayotganini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: O'zbekiston–2030 strategiyasi, transport sohasi, transport infratuzilmasi, logistika, jamoat transporti, temir yo'l transporti, aviatsiya, tranzit yuk tashuvlari, transport xizmatlari, barqaror rivojlanish

1. Kirish

Mamlakat iqtisodiyotining barqaror o'sishi va hududlar o'rtasidagi iqtisodiy integratsiyani ta'minlashda transport sohasi muhim o'rin tutadi. So'nggi yillarda O'zbekistonda transport infratuzilmasini modernizatsiya qilish, logistika tizimini rivojlantirish va xalqaro transport yo'laklarida mamlakatning raqobatbardoshligini oshirish bo'yicha keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilmoqda.

2025 yil 26 dekabr kuni O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning Oliy Majlis va O'zbekiston xalqiga Murojaatnomasida mamlakat iqtisodiyotida erishilgan yuqori o'sish sur'atlari natijasida amaldagi “O'zbekiston–2030” strategiyasini qayta ko'rib chiqish zarurati ta'kidlandi. Jumladan, strategiyada 2030 yilga borib yalpi ichki mahsulotni 160 mlrd dollarga

yetkazish maqsadi belgilangan bo'lsa, 2025 yil yakunida bu ko'rsatkich 145 mlrd dollardan oshgani qayd etildi. Bu esa ushbu maqsadga 2026 yilning o'zidayoq erishish imkoniyati mavjudligini ko'rsatmoqda.

Shu munosabat bilan “O'zbekiston–2030” strategiyasini takomillashtirish va uning yangi tahririni ishlab chiqish vazifasi qo'yildi. Yangi strategiyada barcha sohalar qatori transport tarmog'i uchun ham aniq va o'lchab bo'ladigan maqsadli ko'rsatkichlar belgilash muhim ahamiyat kasb etadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Transport sohasida erishilgan asosiy natijalar



Amalga oshirilgan islohotlar natijasida transport sohasida sezilarli o'sish ko'rsatkichlariga erishildi. Amaldagi "O'zbekiston-2030" strategiyasida 2030 yilga qadar transport xizmatlari hajmini 3 barobarga oshirish vazifasi belgilangan edi. Biroq so'nggi uch yil mobaynida ushbu ko'rsatkich jadal o'sish sur'atlarini namoyon etdi.

Jumladan, transport xizmatlari hajmi 2,5 barobarga oshib, 188 trillion so'mni tashkil etdi (2022 yilda 83,9 trillion so'm). Shu bilan birga, transport xizmatlari eksporti ham 2 barobarga oshib, 2,8 milliard dollarga yetdi.

Avtomobil va jamoat transporti sohasidagi islohotlar

Xalqaro yuk tashuvlari sohasida ham ijobiy natijalar kuzatildi. Xalqaro yuk tashuvchi mahalliy korxonalar soni 2 241 taga yetdi, xalqaro yuk avtomobillari soni esa 1,5 barobarga oshib, 29 mingtani tashkil etdi. Natijada xalqaro tashuvlarda mahalliy kompaniyalar ulushi 39,2 foizdan 62 foizgacha oshdi.

Avtomobil transporti sohasida ham muhim institutsional islohotlar amalga oshirildi. Taksi faoliyati bilan o'zini o'zi band qilgan shaxslarga ruxsat berilishi natijasida legallashtirish yo'nalishsiz taksi haydovchilari soni 5 barobarga oshib, 310 ming nafardan oshdi.

Jamoat transporti tizimini modernizatsiya qilish maqsadida 2005 ta avtobus va 646 ta elektrobus xarid qilindi. Shuningdek, avtobus yo'nalishlarida pul tushumi bo'yicha kunlik reja amaliyotidan voz kechilib, bajarilgan ishlar uchun to'lovga asoslangan brutto-shartnoma tizimi joriy etildi. Hozirgi kunga qadar Toshkent shahrida 168 ta, Nukus shahri va viloyat markazlarida 97 ta avtobus yo'nalishlari ushbu tizimga o'tkazildi.

Yo'l haqi to'lovlarida shaffoflikni ta'minlash maqsadida 2025 yil 1 yanvardan boshlab Toshkent shahri jamoat transportida naqd pul orqali to'lov amaliyoti bekor qilindi.

Amalga oshirilgan islohotlar natijasida jamoat transportidagi qoidabuzarliklar ikki barobarga kamaydi, yashirin iqtisodiyot qisqardi hamda avtobuslar harakat intervali 18–20 daqiqadan 8–10 daqiqagacha qisqardi.

Aviatsiya va temir yo'l sohasidagi islohotlar

Aviatsiya sohasini liberallashtirish siyosati natijasida aviakompaniyalar soni 3 tadan 16 taga yetdi, shundan 14 tasi xususiy kompaniyalar hisoblanadi. Shu bilan birga, respublikadagi havo kemalari soni 54 tadan 107 tagacha oshdi.

So'nggi uch yil mobaynida aviaqatnovlar geografiyasi ham kengaydi. Aviayo'nalishlar soni 78 tadan 206 tagacha, aviaqatnovlar soni 64 mingtadan 130 mingtaga oshdi. Yo'lovchilar soni esa 8 million nafardan 15,5 million nafarga yetdi.

Zomin, Qo'qon, Shahrisabz va Sariosiyo aeroportlari rekonstruksiya qilinib, mahalliy aviatsiya qatnovlari yo'lga qo'yildi. Shuningdek, "Toshkent-Sharqiy" aerodromi negizida fuqaro va tadbirkorlik aviatsiyasi uchun "Toshkent-Humo" zamonaviy aeroport kompleksi ishga tushirildi.

Temir yo'l infratuzilmasini rivojlantirish doirasida elektrlashtirilgan temir yo'llar ulushi 43 foizdan 51 foizga yetkazildi. Yuqori tezlikda harakatlanuvchi Talgo-250 poyezdlari soni 6 taga yetdi. 2026 yilda Koreya Respublikasidan yana 6 ta zamonaviy elektropoyezd olib kelinishi rejalashtirilgan.

Metropolitan infratuzilmasi ham kengaytirildi. Metro liniyasining umumiy uzunligi 38 km dan 70,8 km ga, bekatlar soni esa 29 tadan 50 taga yetkazildi. Harakat tarkibini yangilash maqsadida 41 ta yangi metro poyezdi xarid qilindi. Natijada metro poyezdlari intervali 5 daqiqadan 3 daqiqagacha qisqardi va kunlik yo'lovchilar soni 1 million nafarga yetdi.

Yangi tahrirdagi "O'zbekiston-2030" strategiyasi doirasidagi maqsadlar

Amalga oshirilgan islohotlar natijasida amaldagi strategiyada 2030 yilga qadar belgilangan ko'plab maqsadlarga 2025 yil yakuni bilan deyarli erishildi. Shu munosabat bilan yangi tahrirdagi "O'zbekiston-2030" strategiyasi loyihasiga transport sohasi bo'yicha 15 ta o'lachab bo'ladigan maqsadli ko'rsatkich belgilandi.

Xususan, 2030 yilga qadar:

- transport xizmatlari hajmini 320 trillion so'mga yetkazish;
- tranzit yuk tashuvlarini 18,5 million tonnadan oshirish;
- shahar va tumanlarni jamoat transporti bilan to'liq qamrab olish;
- yangi zamonaviy avtobuslar sonini 5 ming taga va elektrobuslar sonini 2 ming taga yetkazish;
- hududlarda brutto-shartnoma tizimini bosqichma-bosqich joriy etib, ular sonini 248 taga yetkazish;
- elektrlashtirilgan temir yo'llar ulushini 65 foizga yetkazish;
- tezyurar poyezdlarda yo'lovchilar sonini 3,25 million nafarga yetkazish;
- havo kemalari sonini 180 taga, aviaqatnovlar sonini 200 mingtaga, havo transportida tashilgan yo'lovchilar sonini 24 million nafarga yetkazishga erishiladi.

3. Xulosa

O'zbekistonda so'nggi yillarda transport sohasida amalga oshirilgan keng ko'lamlı islohotlar tarmoqning jadal rivojlanishiga xizmat qildi. Transport xizmatlari hajmining sezilarli o'sishi, infratuzilmaning modernizatsiya qilinishi va xususiy sektor ishtirokining kengayishi sohaning raqobatbardoshligini oshirishga zamin yaratdi.

Yangi tahrirdagi "O'zbekiston-2030" strategiyasi doirasida belgilangan maqsadlar transport sohasini yanada modernizatsiya qilish, logistika imkoniyatlarini kengaytirish va mamlakatning xalqaro transport tizimidagi o'rnini mustahkamlashga xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Shavkat Mirziyoyev. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Oliy Majlis va O'zbekiston xalqiga Murojaatnomasi. – Toshkent, 2025 yil 26 dekabr.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. "O'zbekiston – 2030" taraqqiyot strategiyasi to'g'risidagi farmon. – Toshkent, 2023.
- [3] O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. O'zbekiston Respublikasi transport sohasini rivojlantirish bo'yicha rasmiy statistik ma'lumotlar va tahliliy hisobotlar. – Toshkent, 2024–2025.
- [4] O'zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo'mitasi. O'zbekiston Respublikasining ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishi bo'yicha statistik to'plam. – Toshkent, 2025.
- [5] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Strategik islohotlar agentligi. "O'zbekiston – 2030" strategiyasini amalga oshirish bo'yicha tahliliy materiallar. – Toshkent, 2024.



[6] O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. Transport sohasini rivojlantirishga oid normativ-huquqiy hujjatlar va rasmiy ma'lumotlar. – Toshkent, 2023–2025.

[7] International Transport Forum. Transport Outlook and Global Mobility Trends. – Paris, 2023.

[8] Rodrigue J.P. The Geography of Transport Systems. – New York: Routledge, 2020.

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

Hakimov Rashidjon Ilhomovich / Hakimov Rashidjon
Toshkent davlat transport universiteti, izlanuvchi
E-mail: r.hakimov@mintrans.uz



Study of the influence of moisture on the strength characteristics of sand-clay molding mixture

N.K. Tursunov¹^a, Sh.A. Nazarov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article presents the results of a study on the influence of moisture on the strength characteristics of sand-clay molding mixture used in the manufacture of casting molds for the critical parts of freight wagon carts. Experimentally established that the compressive strength limit in the wet state depends on the moisture content in the mixture within the range of 3.50 to 4.00%. It was determined that the maximum strength of the mixture is achieved at a moisture content of 3.70% and is 1.21 MPa. A rational moisture range of 3.65–3.75% has been established, ensuring the highest strength characteristics and stability of the technological properties of the molding mixture.

Keywords: molding mixture, moisture, compressive strength, sand-clay mixture, bentonite clay, casting mold, casting production, physical and mechanical properties

Исследование влияния влажности на прочностные характеристики песчано-глинистой формовочной смеси

Турсунов Н.К.¹^a, Назаров Ш.А.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье представлены результаты исследования влияния влажности на прочностные характеристики песчано-глинистой формовочной смеси, используемой при изготовлении литейных форм для ответственных деталей тележек грузовых вагонов. Экспериментально установлена зависимость предела прочности на сжатие во влажном состоянии от содержания влаги в смеси в диапазоне от 3,50 до 4,00 %. Определено, что максимальная прочность смеси достигается при влажности 3,70 % и составляет 1,21 МПа. Установлен рациональный диапазон влажности 3,65–3,75 %, обеспечивающий наиболее высокие прочностные характеристики и стабильность технологических свойств формовочной смеси.

Ключевые слова: формовочная смесь, влажность, предел прочности на сжатие, песчано-глинистая смесь, бентонитовая глина, литейная форма, литейное производство, физико-механические свойства

1. Введение

В настоящее время особо ответственные литые детали тележек грузовых вагонов изготавливаются преимущественно в песчано-глинистых формах. Эксплуатационная надежность и долговечность данных деталей в значительной степени зависят от качества литых заготовок, которое определяется комплексом технологических факторов, среди которых важное место занимают свойства формовочных смесей.

Физико-механические характеристики формовочных смесей оказывают непосредственное влияние на качество поверхности отливок, точность их геометрических размеров, образование литейных дефектов, а также на стабильность технологического процесса формообразования. Недостаточная прочность смеси могут привести к возникновению брака и снижению эксплуатационных характеристик готовой продукции.

В связи с возрастающими требованиями к качеству и надежности деталей железнодорожного подвижного

состава особую актуальность приобретает исследование физико-механических свойств формовочных смесей и определение их рациональных характеристик. Результаты исследований позволяют оптимизировать составы формовочных смесей, повысить качество отливок и обеспечить стабильность литейного производства.

Формовочные смеси, применяемые при изготовлении литейных форм, представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из кварцевого песка, связующих материалов (в частности, бентонитовой глины), воды и специальных технологических добавок (древесные опилки, рисовая и кукурузная шелуха или пшеничные отруби).

Каждый из компонентов выполняет определенную функцию в обеспечении требуемых технологических и физико-механических свойств смеси. Кварцевый песок формирует основу смеси и определяет ее огнеупорность, бентонитовая глина обеспечивает необходимую прочность и пластичность формы, вода активирует связующие свойства глины, а специальные добавки

^a <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

^b <https://orcid.org/0009-0009-9740-7029>



позволяют регулировать и другие эксплуатационные характеристики формовочной смеси. Рациональный подбор компонентного состава и оптимизация соотношения отдельных составляющих являются важными условиями получения качественных литейных форм и бездефектных отливок.

2. Методика исследования

Для исследования физико-механических свойств формовочных смесей были изготовлены и испытаны образцы песчано-глинистых смесей. В состав исследуемой смеси входили формовочный песок марки ЗКЗО2025, бентонитовая формовочная глина марки П1Т1, рисовая шелуха и вода.

Влажность является одним из ключевых факторов, определяющих прочностные свойства формовочной смеси. С увеличением содержания влаги прочность смеси возрастает вследствие улучшения адгезионного взаимодействия между частицами формовочных материалов и повышения связующей способности глинистого компонента.

При превышении оптимального уровня влажности наблюдается снижение прочности, обусловленное переувлажнением смеси, ослаблением межчастичных связей и ухудшением структуры формовочного материала. Максимальные показатели прочности достигаются при оптимальном содержании влаги в формовочной смеси. Метод определения влажности в формовочных смесях основан на определении потери массы навески песка формовочного, формовочной или стержневой смесей после высушивания до постоянной массы.

Классификация исследуемых формовочных смесей по массовой доле влаги представлена в таблице 1.

Таблица 1
Классификация формовочных смесей

№	Группа	Массовая доля влаги, %, не более
1	Сухие	0,5
2	Влажные	4,0
3	Сырые	6,0

Влажность формовочной смеси (ω , %) определяется по формуле 1:

$$\omega = ((m_1 - m_2)/m_1) \cdot 100$$

где m_1 - масса навески смеси до высушивания, г;
 m_2 - масса навески смеси после высушивания до постоянной массы, г.

Контроль влажности формовочных смесей осуществляли с помощью влагомера PWG MA35M (рис. 1) и предназначен для быстрого и надёжного определения содержания влаги в жидких, пастообразных и твёрдых веществах с помощью термобариметрического метода.



Рис. 1. Влагомер марки PWG MA35M

Для определения прочности формовочной смеси использовалась мини-лабораторная установка фирмы Simpson Technologies (рис.2).



Рис. 2. Мини-лаборатория для измерения физико-механических формовочных смесей Simpson PVF-C

Данное многоцелевое устройство используется для определения прочностных характеристик образцов формовочных смесей, связанных глиной или химическим способом.

Мини-лаборатория может использоваться для приготовления цилиндрических образцов смеси размерами 50мм x 50мм, которые можно подвергать различным испытаниям с использованием дополнительных приспособлений, а именно испытаниям на уплотняемость, испытаниям на прочность на сжатие, на разрыв, на сдвиг с двойным изгибом, испытаниям стержней на изгиб, а также на разрыв.

Приготовление формовочной смеси осуществлялось в лабораторном смесителе. Компонентный состав смеси включал 87 % формовочного песка, 12 % бентонитовой глины и 1 % рисовой шелухи. Общая масса приготовленной смеси составляла 1000 г.

Для обеспечения требуемых технологических свойств влажность формовочной смеси изменяли в диапазоне от 3,5 до 4,0 % шагом 0,05 %. Подготовленные образцы использовали для определения физико-механических характеристик формовочных смесей.

В ходе исследования было проведено более 100 экспериментальных испытаний. Результаты экспериментов были обработаны методами математической статистики, и для дальнейшего анализа использовались средние значения полученных данных. Усреднённые результаты зависимости предела прочности на сжатие во влажном состоянии формовочной смеси от её влажности представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2
Зависимость прочности формовочной смеси от её влажности

№	Влажность, %	Прочность, МПа
1	3,50	1,06

2	3,55	1,10
3	3,60	1,13
4	3,65	1,19
5	3,70	1,21
6	3,75	1,20
7	3,80	1,18
8	3,85	1,16
9	3,90	1,15
10	3,95	1,14
11	4,00	1,13

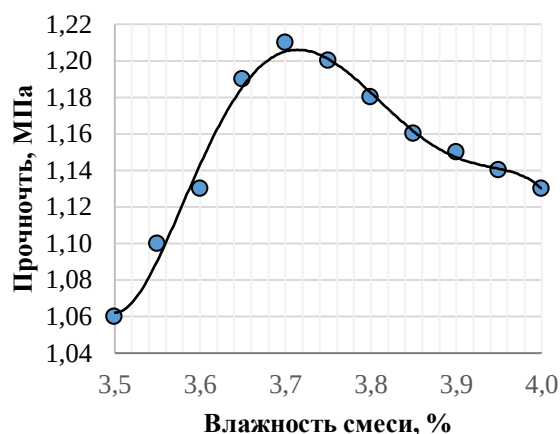


Рис. 3. График зависимости предела прочности на сжатие во влажном состоянии формовочной смеси от её влажности

Как видно из таблицы 2 и рисунка 3, влажность оказывает существенное влияние на предел прочности на сжатие формовочной смеси во влажном состоянии. С увеличением влажности от 3,50 до 3,70 % наблюдается рост прочности смеси с 1,06 до 1,21 МПа, что составляет около 14,2 %. Повышение прочности в указанном диапазоне обусловлено улучшением адгезионного взаимодействия между частицами формовочного песка и бентонитовой глины, а также увеличением пластичности связующего компонента.

Максимальное значение предела прочности на сжатие во влажном состоянии было достигнуто при влажности 3,70 % и составило 1,21 МПа. Дальнейшее увеличение влажности до 4,00 % сопровождается постепенным снижением прочности до 1,13 МПа. Снижение прочностных характеристик связано с переувлажнением смеси, приводящим к ослаблению межчастичных связей и ухудшению структурной устойчивости формовочного материала.

Результаты проведённых исследований показывают, что рациональный диапазон влажности исследуемой формовочной смеси составляет 3,65–3,75 %. В указанном интервале достигаются максимальные значения предела прочности на сжатие во влажном состоянии, что обеспечивает наиболее благоприятное сочетание структурно-механических и технологических свойств смеси.

3. Заключение

Установлено, что влажность является одним из определяющих факторов, влияющих на прочностные характеристики песчано-глинистых формовочных смесей. Изменение содержания влаги оказывает

существенное воздействие на формирование межчастичных связей между зёрнами кварцевого песка и бентонитовой глиной, что непосредственно отражается на величине предела прочности на сжатие во влажном состоянии.

Установлено, что с увеличением влажности от 3,50 до 3,70 % предел прочности на сжатие во влажном состоянии возрастает с 1,06 до 1,21 МПа, что соответствует увеличению прочности на 14,2 %. Рост прочностных характеристик обусловлен активацией связующих свойств бентонитовой глины и улучшением адгезионного взаимодействия между компонентами формовочной смеси.

Определено, что максимальное значение предела прочности на сжатие во влажном состоянии составляет 1,21 МПа и достигается при влажности 3,70 %. Дальнейшее увеличение содержания влаги сопровождается постепенным снижением прочности до 1,13 МПа при влажности 4,00 %, что связано с переувлажнением смеси и ослаблением структурных связей в формовочном материале.

На основании результатов экспериментальных испытаний установлен рациональный диапазон влажности исследуемой формовочной смеси, составляющий 3,65–3,75 %. В указанном интервале обеспечиваются максимальные прочностные характеристики и наиболее благоприятное сочетание технологических свойств, необходимых для получения качественных литейных форм.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и корректировке технологических режимов приготовления песчано-глинистых формовочных смесей для производства ответственных отливок деталей тележек грузовых вагонов. Поддержание влажности смеси в установленном диапазоне позволяет повысить стабильность технологического процесса формообразования, снизить вероятность возникновения литейных дефектов и обеспечить повышение качества литых заготовок.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение комплексного влияния влажности, содержания бентонитовой глины и органических добавок на физико-механические и технологические свойства формовочных смесей, а также определение их влияния на качество поверхности и эксплуатационные характеристики литых деталей железнодорожного назначения.

Использованная литература / References

- [1] Ромашкин В.Н., Валисовский И.В. Смесей с улучшенными техно-логическими свойствами. // Литейное производство. –1990. –№2. –с.17–18.
- [2] Кучков, Л. А., & Турсунов, Н. К. (2021). Исследование состава формовочных и стержневых смесей для повышения механических свойств. Scientific progress, 2(5), 350-356.
- [3] Туракулов, М. Р., Турсунов, Н. К., Халмурзаев, Б. Х., Кенжаев, С. Н., & Абдурахимов, М. М. (2023). Технология изготовления формовочных и стержневых смесей для получения синтетического чугуна. Теория и практика современной науки, (5 (95)), 190-196.
- [4] Туракулов, М. Р., Турсунов, Н. К., & Инсапов, Д. М. (2022). Разработка технологии изготовления



формовочных и стержневых смесей для получения синтетического чугуна. Universum: технические науки, (4-3 (97)), 5-9.

[5] Toirov, O., Tursunov, N., & Kuchkorov, L. (2025). Development of resource-saving composition of sand-clay mixtures for steel castings with improved physical and chemical characteristics. Vibroengineering Procedia, 58.

[6] Грузман В.М. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей. //Литейное производство. – 1999. –№6. –с.30–31.

Информация об авторах/ Information about the authors

Турсунов Заведующий кафедрой
Нодиржон / «Материаловедение и

Nodirjon
Tursunov

машиностроение» Ташкентского
государственного транспортного
университета, д.т.н., профессор
E-mail: u_nadir@mail.ru
Тел.: +998712990169
<https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

Назаров
Шахбоз /
Shahboz
Nazarov

Докторант кафедры
«Материаловедение и
машиностроение» Ташкентского
государственного транспортного
университета,
E-mail: golden077771@gmail.com
Tel.: +998770809499
<https://orcid.org/0009-0009-9740-7029>



Development of Uzbekistan's railway passenger transport system: reform outcomes and factors influencing efficiency

R.I. Hakimov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the outcomes of institutional, infrastructural, and technological reforms implemented in Uzbekistan's railway passenger transport system during 2017–2025. It evaluates the impact of railway infrastructure modernization, rolling stock renewal, expansion of high-speed rail services, and digitalization on passenger transportation volumes and service efficiency. Based on the research findings, a system of organizational and economic factors determining the efficiency of the railway passenger transport system is identified, and an original conceptual model illustrating their interrelationships is proposed.

Keywords: railway transport, passenger transportation, efficiency, transport reforms, high-speed trains, infrastructure, digitalization

O'zbekistonda temir yo'l yo'lovchi tashish tizimini rivojlantirish: Islohotlar natijalari va samaradorlikka ta'sir etuvchi omillar

Hakimov R.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada O'zbekiston temir yo'l yo'lovchi tashish tizimida 2017–2025 yillarda amalga oshirilgan institutsional, infratuzilmaviy va texnologik islohotlarning natijalari tahlil qilingan. Temir yo'l infratuzilmasini modernizatsiya qilish, harakat tarkibini yangilash, yuqori tezlikdagi poyezdlar harakatini kengaytirish va sohani raqamlashtirishning yo'lovchi tashish hajmi hamda xizmatlar samaradorligiga ta'siri baholangan. Tadqiqot natijalari asosida temir yo'l yo'lovchi tashish tizimi samaradorligini belgilovchi tashkiliy-iqtisodiy omillar tizimlashtirilgan va ularning o'zaro bog'liqligini ifodalovchi mualliflik modeli taklif etilgan.

Kalit so'zlar: temir yo'l transporti, yo'lovchi tashish, samaradorlik, transport islohotlari, yuqori tezlikdagi poyezdlar, infratuzilma, raqamlashtirish

1. Kirish

Temir yo'l transporti mamlakat transport tizimining strategik tarmoqlaridan biri hisoblanib, aholi mobilligini ta'minlash, hududlar o'rtasidagi iqtisodiy aloqalarni rivojlantirish va turizmni qo'llab-quvvatlashda muhim ahamiyatga ega. So'nggi yillarda O'zbekistonda temir yo'l sohasini modernizatsiya qilish, xizmatlar sifatini oshirish va bozor mexanizmlarini joriy etish bo'yicha keng ko'lamli islohotlar amalga oshirildi. Biroq mazkur islohotlarning yo'lovchi tashish tizimi samaradorligiga ta'siri yetarli darajada baholanmagan. Shu bois maqolaning maqsadi amalga oshirilgan islohotlarning natijalarini tahlil qilish va samaradorlikka ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlashdan iborat.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Temir yo'l yo'lovchi tashish tizimida amalga oshirilgan islohotlar

Tahlillar ko'rsatishicha, 2017–2025 yillarda islohotlar uchta asosiy yo'nalish bo'yicha amalga oshirilgan.

Institutsional islohotlar

2024 yilda yuqori tezlikdagi poyezdlar faoliyati "Temiryo'lekspress" AJga, vokzallar boshqaruvi "Temir yo'l vokzallari" MCHJga hamda shahar atrofidagi tashishlar "Shahar atrofida yo'lovchi tashish" MCHJga ajratildi. Bu funksional ixtisoslashuvni kuchaytirib, boshqaruv qarorlarining tezkorligini oshirishga xizmat qildi.

Infratuzilmaviy modernizatsiya

So'nggi yillarda "Buxoro–Misken" va "Urganch–Xiva" temir yo'l liniyalari qurildi, "Buxoro–Urganch–Xiva" uchastkasining 465 km qismi elektrlashtirildi, "Navoiy–Buxoro" uchastkasida ikkinchi yuqori tezlikdagi temir yo'l qurilishi yakunlandi. Natijada elektrlashtirilgan temir yo'llar ulushi 53 foizga yetdi.

Harakat tarkibini yangilash

Yo'lovchi tashish tizimiga 6 ta Talgo-250 yuqori tezlikdagi elektropoyezdi va 500 dan ortiq yangi vagon jalb qilindi. Shuningdek, 2026 yilda Hyundai Rotem kompaniyasidan yana 6 ta zamonaviy poyezd olib kelinadi. Shundan, 1 tasi olib kelinib, Toshkent–Samarqand–Buxoro–Xiva yo'nalishida qatnovi yo'lga qo'yildi.

Islohotlar natijalarining tahlili

Amalga oshirilgan islohotlar temir yo'l transporti xizmatlari hajmining o'sishiga ijobiy ta'sir ko'rsatdi.

- 2020 yilda – 6,3 mln nafar yo'lovchi;



- 2021 yilda – 8 mln nafar yo'lovchi;
- 2022 yilda – 9,1 mln nafar yo'lovchi;
- 2023 yilda – 9,8 mln nafar yo'lovchi;
- 2024 yilda – 10 mln nafar yo'lovchi;
- 2025 yilda – 10,5 mln nafar yo'lovchi tashishga erishildi.

2020–2025 yillarda temir yo'l orqali tashilgan yo'lovchilar soni 6,3 mln nafardan 10,5 mln nafargacha o'sib, qariyb 66,7 foizga oshgan.

Mazkur o'sishga quyidagi omillar asosiy ta'sir ko'rsatgan:

- yuqori tezlikdagi poyezdlar sonining ko'payishi;
- yangi temir yo'l liniyalarining qurilishi;
- elektrlashtirish ishlarining kengayishi;
- onlayn chipta sotish tizimining rivojlanishi;
- turizm yo'nalishlaridagi tashishlarga talabning o'sishi.

Shu bilan birga, haftasiga 39 ta xalqaro va 259 ta mahalliy poyezd qatnovlari amalga oshirilayotgani temir yo'l transportining aholi mobilligini ta'minlashdagi ahamiyati ortib borayotganligini ko'rsatadi.

Tadqiqot natijalari asosida samaradorlikka ta'sir etuvchi omillar to'rt guruhga ajratildi.

Texnik omillar

- harakat tarkibi holati;
- elektrlashtirish darajasi;
- infratuzilmaning rivojlanganligi.

Iqtisodiy omillar

- tarif siyosati;
- davlat subsidiyalari;
- investitsiyalar hajmi.

Tashkiliy omillar

- boshqaruv tizimi;
- korporativ tuzilma;
- raqamli xizmatlar.

Bozor omillari

- aholi daromadlari;
- turistik oqim;
- raqobatchi transport turlari.

Temir yo'l yo'lovchi tashish tizimi samaradorligini kompleks baholash uchun quyidagi model taklif etiladi:

$$S = f(T, I, R, B)$$

Bu yerda:

T — texnik omillar;

I — iqtisodiy omillar;

R — tashkiliy omillar;

B — bozor omillari.

Mazkur model samaradorlikni kompleks baholash va boshqaruv qarorlarini qabul qilishda foydalanish imkonini beradi.

Samaradorlikni oshirishning modellashtirish asoslari

Yuqorida keltirilgan tahlillar temir yo'l yo'lovchi tashish tizimi samaradorligi texnik, iqtisodiy, tashkiliy va bozor omillarining o'zaro ta'siri natijasida shakllanishini ko'rsatdi. Biroq mazkur omillarni amaliyotda boshqarish uchun ularni miqdoriy baholash va boshqaruv qarorlarini qabul qilish mexanizmi talab etiladi.

Shu maqsadda temir yo'l transporti korxonalari samaradorligini oshirishga qaratilgan uch bosqichli modellar tizimi taklif etildi. Mazkur yondashuvda har bir keyingi model oldingi model natijalariga tayanadi hamda yagona

integratsiyalashgan tashkiliy-iqtisodiy mexanizmini shakllantiradi.

Yo'lovchi oqimini prognozlash modeli

Birinchii bosqichda kelgusi davrdagi yo'lovchilar soni prognoz qilinadi.

$$Q_t = Q_0(1 + r)^t$$

Bu yerda:

Q = 10,5 mln kishi (2025 yil);

r = 0,095 (so'nggi yillardagi o'rtacha o'sish sur'ati);

t – prognoz davri.

Ushbu model asosida:

- 2026 yilda – 11,5 mln nafar;
- 2027 yilda – 12,6 mln nafar;
- 2028 yilda – 13,8 mln nafar;
- 2029 yilda – 15,1 mln nafar;
- 2030 yilda – 16,5 mln nafar yo'lovchi tashilishi prognoz qilinadi.

Ikkinchi bosqichda prognoz qilingan yo'lovchi oqimi asosida davlat subsidiyalari taqsimlanadi. Uchinchi bosqichda esa prognoz qilingan talab va ajratilgan subsidiyalari asosida korxonaning iqtisodiy samaradorligi baholanadi.

Davlat subsidiyalarini taqsimlash modeli

Davlat subsidiyalarini taqsimlash modeli prognoz qilingan yo'lovchi oqimiga tayanadi.

Temir yo'lda subsidiyaning maqsadi zararni qoplash emas, balki ijtimoiy ahamiyatga ega tashishlarni qo'llab-quvvatlash hisoblanadi.

Shuning uchun quyidagi model tavsiya qilinadi:

$$s_i = \frac{Q_i \times K_i}{\sum^n (Q_i \times K_i)} \times S$$

Bu yerda:

Si – yo'nalishga ajratiladigan subsidiya;

Qi – prognoz qilingan yo'lovchi oqimi;

Ki – ijtimoiy ahamiyat koeffitsienti;

S – davlat tomonidan ajratilgan umumiy subsidiya;

n – yo'nalishlar soni.

Masalan, K yo'nalish turi bo'lsa:

- Ki - tijoratbop yo'nalish uchun – 0;
- o'rta ahamiyatli yo'nalish uchun – 0,5;
- ijtimoiy ahamiyatli yo'nalish uchun – 1;
- shahar atrofi yo'nalishlari uchun – 2 koeffitsient qo'llanishi maqsadga muvofiq.

Davlat subsidiyalarini taqsimlash modeli yo'nalishlar bo'yicha prognoz qilingan yo'lovchi oqimi hamda ularning ijtimoiy ahamiyatini hisobga olgan holda ishlab chiqildi. Model subsidiyalarni zararni qoplash prinsipi asosida emas, balki tashish hajmi va ijtimoiy ahamiyat darajasiga mutanosib ravishda taqsimlash imkonini beradi. Bu davlat mablag'laridan foydalanish samaradorligini oshirish va subsidiyalarning iqtisodiy natijaga ta'sirini kuchaytirishga xizmat qiladi.

Temir yo'l transporti korxonalari samaradorligini oshirishning integratsiyalashgan tashkiliy-iqtisodiy mexanizmi ishlab chiqildi.

Ushbu mexanizm yo'lovchi oqimini prognozlash, davlat subsidiyalarini maqsadli taqsimlash, tashkiliy qarorlarni qabul qilish, daromadlarni shakllantirish va xarajatlarni optimallashtirish jarayonlarini yagona boshqaruv konturiga birlashtiradi. Mexanizm samaradorligi $E = (R + S) / C$ integral ko'rsatkichi orqali baholanadi va korxona faoliyatini zararni



qoplash modeliga moslashtirishdan iqtisodiy natijalarni boshqarish modeliga o'tkazish imkonini beradi.

bu yerda:

E – samaradorlik indeksi;

S – maqsadli subsidiya;

R – tashish va servis xizmatlaridan olinadigan daromad;

C – jami xarajatlar.

Shunday qilib, modellar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik quyidagi zanjirni hosil qiladi:

Yo'lovchi oqimi prognozi (Qt) → Subsidiya taqsimoti (Si) → Integratsiyalashgan tashkiliy-iqtisodiy mexanizm (E) → Moliyaviy natija (ΔP).

3. Xulosa

Tadqiqot natijalari O'zbekiston temir yo'l yo'lovchi tashish tizimida 2017–2025 yillarda amalga oshirilgan institutsional, infratuzilmaviy va texnologik islohotlar xizmatlar sifati hamda tashish hajmining o'sishiga sezilarli ijobiy ta'sir ko'rsatganligini tasdiqladi. Xususan, 2020–2025 yillarda temir yo'l transporti orqali tashilgan yo'lovchilar soni 6,3 mln nafardan 10,5 mln nafargacha o'sib, 66,7 foizga oshgani sohada amalga oshirilgan islohotlarning amaliy samaradorligini ko'rsatadi.

Tadqiqot davomida temir yo'l yo'lovchi tashish tizimi samaradorligiga ta'sir etuvchi texnik, iqtisodiy, tashkiliy va bozor omillari tizimlashtirildi hamda ularning o'zaro bog'liqligini ifodalovchi konseptual model taklif etildi.

Maqolaning ilmiy yangiligi sifatida temir yo'l transporti korxonalari samaradorligini oshirishga qaratilgan uch bosqichli modellar tizimi ishlab chiqildi. Ushbu tizim yo'lovchi oqimini prognozlash modeli (Qt), davlat subsidiyalarini taqsimlash modeli (Si) hamda integratsiyalashgan tashkiliy-iqtisodiy mexanizm modeli ($E=(R+S)/C$)dan tashkil topib, ularning o'zaro bog'liqligi asosida korxonalar faoliyatining moliyaviy natijalarini yaxshilash imkonini beradi.

Taklif etilgan yondashuv temir yo'l transportida davlat qo'llab-quvvatlash choralari maqsadli yo'naltirish, yo'lovchi tashish hajmini prognozlash asosida boshqaruv qarorlarini qabul qilish va mavjud resurslardan foydalanish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Mazkur modellar tizimi kelgusida temir yo'l transporti korxonalarning raqobatbardoshligi va moliyaviy barqarorligini ta'minlash bo'yicha ilmiy-amaliy qarorlar qabul qilishda metodik asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 6 martdagi PQ-4230-son qarori. «Temir yo'l transportida yo'lovchi tashish xizmatlarini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida».

[2] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 7 maydagi 382-son qarori. «Temir yo'l transporti uchun zamonaviy elektropoyezdlar xaridini moliyalashtirish choralari to'g'risida».

[3] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 13 avgustdagi PF-5781-son farmoni. «Turizm sohasini jadal rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida».

[4] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 10 oktabrdagi PQ-329-son qarori. «Temir yo'l transportida yo'lovchi tashish tizimini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida».

[5] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2024 yil 16 iyuldagi 425-son qarori. «Temir yo'l transportida yo'lovchi tashish xarajatlarini davlat budjeti hisobidan kompensatsiya qilish tartibi to'g'risida».

[6] O'zbekiston Respublikasining 2024 yil 27 noyabrdagi O'RQ-1006-son Qonuni. «Temir yo'l transportida yo'lovchilarga xizmat ko'rsatish tizimini takomillashtirish to'g'risida».

[7] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 27 dekabrdagi PQ-391-son qarori. «O'zbekiston Respublikasi temir yo'l transportini 2030 yilga qadar rivojlantirish dasturi to'g'risida».

[8] O'zbekiston temir yo'llari AJ. Yillik hisobotlar va statistik ma'lumotlar. Toshkent, 2020–2025.

[9] O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. Transport sohasini rivojlantirish bo'yicha tahliliy ma'lumotlar va statistik hisobotlar. Toshkent, 2023–2025.

[10] O'zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo'mitasi. Transport sohasi statistik ko'rsatkichlari. Toshkent, 2020–2025.

[11] Abdullayev Y.A., Berdiyev B.B. Transport iqtisodiyoti. – Toshkent: IQTISODIYOT, 2021. – 356 b.

[12] Mansurov Yu.N., Adilxojayev A.I. Temir yo'l transporti iqtisodiyoti va boshqaruvi. – Toshkent: TDTTrU, 2022. – 284 b.

[13] Rodrigue J.P. The Geography of Transport Systems. 6th ed. New York: Routledge, 2024.

[14] Button K. Transport Economics. 4th ed. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

[15] World Bank. Railway Reform: Toolkit for Improving Rail Sector Performance. Washington D.C., 2022.

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

Hakimov Rashidjon Toshkent davlat transport universiteti, izlanuvchi
Ilhomovich E-mail: r.hakimov@mintrans.uz
/ Hakimov Rashidjon



Production of pyrolysis distillate – synthetic fuel from waste tires

M.R. Abasov¹

¹Institute of space research of natural resources of the National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

Abstract: Biomass, as a form of solar energy stored in chemical form, is one of the most widely used and versatile resources on Earth. It provides not only food but also energy, construction materials, paper, textiles, pharmaceuticals, and chemical products. Biomass has been used for energy purposes since humans first discovered fire. Today, biomass-based fuels can be utilized for a wide range of applications, from residential heating to electricity generation and automotive fuels. This article presents the results of a study on the recycling of waste tires using the pyrolysis process. In Azerbaijan, the production of biodiesel fuel is expected to begin. The Balakhani industrial park will produce biodiesel through the recycling of used tires. However, the direct conversion of waste tires into biodiesel is neither a common nor an officially supported method. Biodiesel is typically produced from vegetable oils or other organic feedstocks through transesterification processes, in which the raw materials consist of vegetable oils, animal fats, or synthetic compounds.

Keywords: waste tire, fast pyrolysis, slow pyrolysis, pyrolysis distillate, carbon black, steel cord, fractional analysis, temperature, volume

Получения пиролизного дистиллята – синтетического топлива из изношенных шин

Абасов М.Р.¹

¹Институт космических исследований природных ресурсов Национального Аэрокосмического Агентства, Баку, Азербайджан

Аннотация: Биомасса, как производная энергии Солнца в химической форме, является одним из наиболее популярных и универсальных ресурсов на Земле. Она позволяет получать не только пищу, но и энергию, строительные материалы, бумагу, ткани, медицинские препараты и химические вещества. Биомасса используется для энергетических целей с момента открытия человеком огня. Сегодня топливо из биомассы может использоваться для различных целей - от обогрева жилищ до производства электроэнергии и топлив для автомобилей. В данной статье рассматриваются результаты исследования процесса переработки изношенных шин с использованием метода пиролиза. В Азербайджане начнется производство биодизельного топлива. Балаханский промышленный парк, будет осуществлять производство биодизеля за счет повторной переработки использованных шин. Прямая переработка использованных шин для получения биодизеля не является распространённым или официально поддерживаемым методом. Биодизель обычно производится из растительных масел или других органических материалов с использованием процессов транс этерификации, где сырьём служат растительные масла, животные жиры или синтетические соединения.

Ключевые слова: изношенная шина, быстрый пиролиз, медленный пиролиз, пиролизный дистиллят, технический углерод, металлокорд, фракционный анализ, температура, объём

1. Введение

По оценкам аналитиков, в 2025 году было запущено около 180 новых станций, работающих на биомассе. В результате общее число таких объектов в мире превысило 5800, а их совокупная электрическая мощность достигла 94,7 ГВт. Азия лидирует по объёму установленных мощностей – более 38 ГВт, за ней следует Европа с показателем около 24 ГВт. К 2034 году esorog прогнозирует увеличение мирового парка до 6800 станций общей мощностью почти 109 ГВт.

2. Методика исследования

Синтетический дизель - альтернативный источник топлива, который может заменить дизельное топливо. В сфере переработки отработанных шин ведётся большая работа [1]. Последствия использования традиционных ископаемых топлив для окружающей среды являются общепризнанными. В связи с этим разработка альтернативных источников топлива, таких как пиролиз растительных веществ и пластиковых отходов, активно исследуется.

Композиты из отработанной резины шин (WTR)

 <https://orcid.org/0009-0001-2738-6893>



состоят из сложной смеси ингредиентов: натуральных и синтетических каучуков, технического углерода, диоксида кремния, пластификаторов, антиоксидантов, технологических добавок в качестве активаторов и ускорителей, серы, стального корда и волокон из нейлона, полиэстера и целлюлозы [2]. В результате пиролиза он распадается на мелкие углеводороды.

Пиролиз — это процесс разложения вещества при отсутствии кислорода и при повышенных температурах, в результате которого образуются пролизынный дистилят. Эти пиролизный дистилят могут быть дополнительно переработаны в топливо и другие полезные продукты. Однако, из-за различий в составе исходных сырьевых материалов, пиролизный дистилят могут быть очень разнообразными и сложными [3]. Ученые провели эксперимент при различных температурах, от 400 до 700°C. Самые распространенные температуры для пиролиза шин составляют от 425 до 600°C, с наиболее частым значением 500°C. Увеличение температуры с 450 до 475°C приводит к увеличению выхода масла, достигающего пика при 475°C, но дальнейшее повышение температуры до 600°C сопровождается снижением выхода масла и ростом выхода газа.

Пиролизный дистилят, полученное из отходных шин (TDO), было оценено по характеристикам дизельного топлива, и были рассмотрены различные сценарии для экономической оценки [4]. В другом эксперименте отработанные шины подвергали пиролизу в лабораторном стационарном реакторе периодического действия. Полученные нефтепродукты смешивали с дизельным топливом в концентрациях 10% и 20% без предварительной обработки. При испытаниях на дизельном двигателе с прямым впрыском анализировались расход топлива, давление в цилиндре, тормозная мощность и выбросы SO₂ при различных оборотах двигателя и углах поворота коленчатого вала [5].

Основным отличием биодизеля от обычного дизтоплива является его экологическая чистота, так как использование этого топлива снижает эмиссию практически всех вредных веществ по сравнению с нефтяными дизельными топливами. Биодизель получил широкое распространение во многих странах мира. Среди них — Германия, Австрия, Чехия, Франция, Италия, Швеция, США, а также другие страны.

Использование биологических дизельных топлив снижает эмиссию практически всех вредных веществ по сравнению с нефтяными дизельными топливами. Для чистых биотоплив (B100) снижение составляет: несгоревших углеводородов — на 56 % мас.; твердых частиц — на 55 % мас.; оксидов углерода — на 43 % мас. [6-7].

Страны с интенсивной автомобилизацией столкнулись с серьезной проблемой нагромождения выведенных из эксплуатации автомобильных шин. В США ежегодное количество изношенных шин составляет 16-18 млн.т, причем уже накоплено около 2 млрд. старых шин. В Англии объем изношенных шин составляет 400 тыс.т, в Японии — 600-750 тыс. т, в Германии — 460-510 тыс. т, в Италии — около 250 тыс. т. В странах СНГ накоплено более 50 млн. т изношенных шин и в настоящее время ежегодно образуется более чем 250-300 тыс. т. Уровень переработки и использования амортизированных шин за рубежом колеблется в очень широких пределах: от 87% в Японии до 20-30% - в США

и большинстве стран Западной Европы, а в Германии он достигает 50% [8]. Изношенные шины образуются и накапливаются в больших и мелких автохозяйствах, предприятиях шиномонтажа и автосервиса, в частном секторе. В большинстве индустриальных стран есть программы и методы, которые направлены на поддержку сбора и переработки отработанных автопокрышек. Однако их эвакуация, захоронение, сжигание, которое происходит ради уменьшения их вредного воздействия на окружающую среду, малоэффективны.

Автомобильная шина состоит из нескольких основных частей: каркаса, брекера, протектора, боковины и бортов, боковой проволоки и шнура-наполнителя (рис.1).

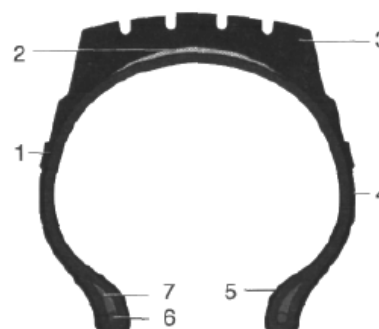


Рис. 1. Разрез автомобильной шины:
1 – каркас; 2 – брекер; 3 – протектор; 4 – боковина; 5 – борт; 6 – бортовая проволока; 7 – шнур-наполнитель

Таким образом, современная автомобильная шина — это сложная высококачественная конструкция, для производства которой тратится целый комплекс ценных сырьевых материалов: резина различного качества в зависимости от функционального назначения изделия; технические ткани; корды на полимерной основе, металлокорды, стальная проволока и др. Разнообразие эксплуатационных требований, которые предъявляются к данным резинотехническим изделиям, обеспечивается, в основном, выбором типов каучука, которых при производстве шин применяется более двадцати.

Таким образом, автомобильная шина представляет собой сложную многокомпонентную структуру, для изготовления которой используется серия материалов различного профиля. Поэтому во время выбора и разработки экологически безопасной технологии ее утилизации необходимо обязательно учитывать данный фактор [9-10].

Для обеспечения экологической безопасности, повышения энергоэффективности и ресурсосбережения, определены оптимальные режимы процесса пиролизной переработки изношенных и отбракованных шин;

Методики определения качественного и количественного состава продуктов пиролиза. Потенциометрическое титрование проводили на рН-метре РН-340 с использованием водно-спиртовых растворов субстратов. Идентификацию органических составляющих газообразных и жидких продуктов пиролиза и их содержание определяли методами газожидкостной хроматографии на хроматографе с пламенно-ионизационным детектором «Цвет-100» (колонка длиной 6м и диаметром 3мм с твердым



носителем «Хроматон NAW-HMDS», фракция 0,25 - 0,31мм) и хромато-масс-спектрометрии на приборе фирмы «Agilent».

Удельную поверхность твердого углеродного остатка пиролиза определяли по методу БЭТ [11]. Кинематическую вязкость и температуру вспышки в закрытом тигле определяли по известным методикам [12]. Содержание кремния в зольном остатке находили спектрофотометрическим методом, основанном на образовании кремнемолибденового комплекса с последующим восстановлением его аскорбиновой кислотой с образованием кремнемолибденовой сини [13].

Анализ концентрации цинка в зольном остатке находили объемным методом при титровании раствором трилона-Б в присутствии индикатора сульфасазена, кальция – тем же методом в присутствии индикатора мурексиды, железа и меди – спектрофотометрическим методом при взаимодействии водного раствора субстрата с сульфосалициловой кислотой и диэтилдитиокарбаматом натрия соответственно [14, 15]. Содержание калия, натрия, магния и алюминия в зольном остатке устанавливали пламенно-ионизационным методом [16].

Методика определения общего содержания ароматических углеводородов – по ГОСТ 6994-74. Массовую долю ароматических углеводородов X рассчитывали по формуле 1:

$$X = \frac{[m_1 - (m_2 - m_k)] \cdot 100}{m_1} - \frac{\text{ЙЧ} \cdot M}{254} \quad (1)$$

где m_1 – масса смолы до обработки серной кислотой, г;

m_2 – масса смолы после обработки серной кислотой, г;

m_k – масса серной кислоты, которая осталась на стенках воронки, г;

ЙЧ – йодное число смолы, г/100г;

M – средняя молекулярная масса ненасыщенных углеводородов, г;

254 – молекулярная масса йода.

Методика определения йодного числа – по ГОСТ 2070-82 по формуле 2:

$$X = \frac{(V - V_1) \cdot F \cdot 0,0129}{m} \cdot 100 \quad (2)$$

где X – содержание йода, г на 100г смолы;

V – объем раствора тиосульфата натрия 0,1моль/дм³, использованного на титрование в контрольном опыте, см³;

F – фактор перерасчета тиосульфата натрия;

m – масса смолы, г;

0,01269 – количество йода, эквивалентное 1см³ 0,1М раствора тиосульфата натрия, г.

Методика определения адсорбционной активности твердого углеродного остатка пиролиза по метиленовому голубому [11]. По полученному значению оптической плотности с использованием калибровочного графика определяли остаточную концентрацию (мг/г твердого остатка) метиленового голубого в осветленном растворе по формуле 3:

$$X = \frac{(C_1 - C_2 K) \cdot 0,025}{m} \quad (3)$$

где C_1 – концентрация исходного раствора, мг/л;

C_2 – концентрация раствора после контакта с твердым остатком, мг/л;

K – коэффициент разведения раствора;

m – навеска, г;

0,025 – объем метиленового голубого, который был взят для осветления, л.

При проведении экспериментальных исследований оценку погрешностей экспериментальных данных осуществляли по методике [15, 16].

Экспериментальные данные обрабатывали по Фишеру-Стьюденту с доверительной вероятностью 0,95.

Относительная погрешность измерений в эксперименте составляет соответственно: при нахождении химических показателей титриметрическим способом – 3...4%; при нахождении фотометрических показателей – 2,5%; при определении физических характеристик – 3...6%.

Результаты эксперимента были обработаны при помощи программного пакета «Mathcad».

Для определения четкого перечня проведения теоретических и экспериментальных работ была проведена на установке рис.2.

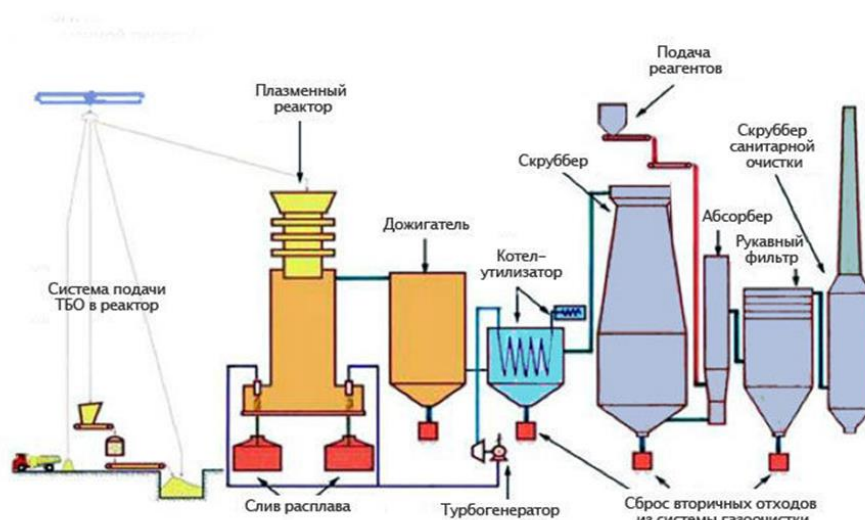


Рис. 2. Пиролитическая установка

Технологический процесс на фабричной производственной линии проходит так:

Нагретый газ подается из печи по трубопроводу в скруббер, где осуществляется охлаждение и частичная конденсация.

Затем он проходит через специальный трубопровод, обеспечивающий дополнительное охлаждение, в конденсаторы для окончательного преобразования в жидкое горючее.

Оставшийся газ, не поддающийся преобразованию в жидкость, направляется для осушения в сепаратор, откуда идет в пиролизную печь для дальнейшей переработки.

Наиболее совершенные технологические линии пиролиза оснащены установками для каталитического крекинга, перегоняющими пиролизное масло, пиролизе шин.

3. Заключение

Для проведения необходимых исследований по повышению экологической безопасности переработки изношенных и отбракованных шин способом низкотемпературного пиролиза можно использовать существующие стандартные методики, оборудование, предметы и материалы.

Таким образом, изношенные шины непригодные к дальнейшему использованию, были подвергнуты процессу пиролиза в пиролизный реакторе. Было проведено 2 эксперимента по изучению влияния температуры и времени на процесс пиролиза. первый эксперимент проводился при высокой температуре, второй эксперимент при относительно низкой температуре. В результате пиролиза получили пиролизный дистиллят, пирогаз, технический углерод и металлические проволоки. Основным продуктом процесса является пиролизный дистиллят, который был подвергнут разделению на две фракции с использованием лабораторного оборудования. Процесс пиролиза позволяет получить различные ценные компоненты, такие как пиролизный дистиллят, пирогаз, технический углерод и металлические проволоки.

Использованная литература / References

[1] Modelling and simulation of waste tire pyrolysis process for recovery of energy and production of valuable chemicals (BTEX). Cao, Yan, Taghvaie Nakhjiri, Ali, Sarkar, Shahin. Scientific Reports (Nature Publisher Group), London Vol. 13, Iss. 1, (2023):

[2] Devulcanization of ground tire rubber: thermo oxidation followed by microwave exposure in the presence of devulcanizing agent. Oscar Buitrago Suescún, Rodrigo Britto. Iranian Polymer Journal (2020) 29:553–567 <https://doi.org/10.1007/s13726-020-00818-4>

[3] A Review of the Desulfurization Processes Used for Waste Tire Pyrolysis Oil. Hossain, Muhammad Nobi, Choi, Myung Kyu. Catalysts, Basel Vol. 11, Iss. 7, (2021)

[4] A novel approach for valorization of waste tires into chemical and fuel (limonene and diesel) through

pyrolysis: Process development and techno economic analysis Somayeh Farzad, Mohsen Mandegari, Johann F. Gorgens. Fuel Processing Technology. Volume 224, 15 December 2021, 107006.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107006>

[5] Alternative fuel produced from thermal pyrolysis of waste tires and its use in a DI diesel engine. Wei-Cheng Wang, Chi-Jeng Bai, Chi-Tung Lin, Samay Prakash. Applied Thermal Engineering/ Volume 93, 25 January 2016. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.056>

[6] Khan A.K. /Thesis the University of Queensland. Brisbane. Australia. 2002.

[7] Данилов А.М., Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. /Российский химический журнал. 2003.

[8] Демина Л.А. Вулкан на обочине // Энергия. - 2002.-№1

[9] Нореикайте В. Переработка шин в Италии // Твердые бытовые отходы. -2007. - №4.

[10] Тайц Е.М., Андреева И.А. Методы анализа и испытания углей. – М.Недра – 1983.

[11] Малышев А.И., Помогайбо А.С. Аналіз резин.- М.: Химия,1977.

[12] Саранчук В.И., Ошовский В.В., Власов Г.А. Физико-химические основы переработки горючих ископаемых.-Донецк: «Східний видавничий дім»,2001.

[13] Горлицкий Б.А. Некоторые концептуальные вопросы развития теории и практики использования техногенных ресурсов: Сб. науч. статей «Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов».-Одесса: «ОЦНТЭИ»,2004.

[14] Саранчук В.И., Яценко О.А., Галушко Л.Я., Ганюков С.В. Совместная переработка бытовых и промышленных отходов // Мат. I конференции с международным участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов». –Харьков: Экоинформ, 2004.

[15] Петренко Т.В., Братчун В.И., Новичков Ю.А. Исследование процесса бескислородного пиролиза изношенных автомобильных шин// Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. Выпуск 29. Харьков, 2005 г.

[16] Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: «Наука», 1971.

Информация об авторах / Information about the authors

Абасов Мурад Рамилович / Murad Abasov
Институт космических исследований природных ресурсов Национального Аэрокосмического Агентства, «Промышленные технологии» докторант, научный сотрудник
E-mail: murad.abasov54@gmail.com
Тел.: +998712990169
<https://orcid.org/0009-0001-2738-6893>



Simulation model of railway terminal operation

Z. Ergasheva¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the features of the operation of container terminals in the Republic of Uzbekistan, including the main active facilities. A simulation model of a railway terminal for organizing container transportation using block train technology is proposed, implemented on the AnyLogic platform. The model formalizes the parameters of container flows, the distribution of their volumes, as well as the processes of handling, accumulation, and formation of container trains. Analytical relationships describing the main stages of container processing have been obtained. The simulation results show that the use of block train technology makes it possible to reduce container idle time, optimize sorting processes, and improve the overall efficiency of terminal operations.

Keywords: cargo transportation, admission, delivery, loading, unloading, container, terminal, block-train, algorithm

Имитационная модель работы железнодорожного терминала

З. Эргашева¹ 

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются особенности функционирования контейнерных терминалов Республики Узбекистан, включая основные действующие площадки. Предложена имитационная модель работы железнодорожного терминала при организации контейнерных перевозок с использованием технологии блок-трейнов, реализованная на платформе AnyLogic. В модели формализованы параметры потоков контейнеров, распределение их объемов, а также процессы обработки, накопления и формирования контейнерных поездов. Получены аналитические зависимости, описывающие основные этапы обработки контейнеров. Результаты моделирования показали, что применение технологии блок-трейнов позволяет сократить время простоя контейнеров, оптимизировать процессы сортировки и повысить эффективность работы терминала.

Ключевые слова: грузовые перевозки, приём, сдача, погрузка, выгрузка, контейнер, терминал, блок-трейн, алгоритм

1. Введение

В Узбекистане контейнеры могут принимать основные существующие в стране терминалы, такие как:

- ЖД терминал ULS в Узбекистане;
- АО «Ўзбекистон темир йўллари»;
- СП ООО «Orient Logistics Center» (OLC);
- ООО "FORWARD TRANS TERMINALS";
- ООО "UNIVERSAL LOGISTICS SERVICES";
- "TERMINAL SERVICES INVEST GROUP";
- Терминал «Ташкент-Товарный» и так далее.

В Узбекистане, между тем, также, представен и ряд прочих терминалов, которые, по большей части, малоиспользуемые, где присутствует достаточно малый оборот контейнерных перевозок грузов.

Каждом терминалу страны присвоим свои порядковые номера. Так, пусть коэффициент p , $p+1$ – номера потоков контейнеров. Коэффициент $u+1 \dots U$ – терминал, который, в свою очередь, принимает к обработке поступающие на площадки контейнеры.

2. Методика исследования

В качестве объекта исследования рассмотрены контейнерные терминалы Республики Узбекистан, включая инфраструктуру Ўзбекистон темир йўллари, а также ряд частных логистических операторов (ULS, OLC, Forward Trans Terminals и др.), обеспечивающих переработку контейнерных грузопотоков. Предметом исследования является процесс организации контейнерных перевозок с использованием технологии блок-трейнов на железнодорожных терминалах.

Методологическую основу исследования составили методы имитационного моделирования, математической статистики и теории вероятностей. Для анализа и воспроизведения процессов обработки контейнеров применялась среда имитационного моделирования AnyLogic, позволяющая учитывать динамику транспортных потоков, параметры инфраструктуры и технологические операции терминалов.

В модели формализованы основные элементы системы:

- входящие потоки контейнеров,

 <https://orcid.org/0000-0003-1651-0892>



индексируемые параметрами $p, p + 1$;

- терминалы переработки контейнеров, обозначенные как $u + 1 \dots U$;
- параметры подвижного состава (состав поезда, количество вагонов, грузоподъемность);
- технологические операции (погрузка, выгрузка, накопление, сортировка).

Имитационная модель реализована в двухмерном пространстве с визуализацией железнодорожных путей, контейнерных площадок и движения блок-трейна. Для моделирования перемещения поездов использован специализированный блок TrainMoveTo, позволяющий задавать маршруты движения и временные характеристики прохождения участков.

В качестве исходных данных использованы статистические сведения о работе терминалов и грузопотоках, полученные на базе Ўзбекистон темир йўллари. Моделирование выполнялось для маршрута Кармана – Тимирйулбод общей протяженностью 723 км с учетом промежуточных участков.

Для оценки параметров функционирования системы применен метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), в рамках которого было проведено 25 численных экспериментов. Случайные параметры моделировались с использованием нормального и логнормального законов распределения, где случайная величина Z задавалась:

- на интервале $[0; 1]$ — для логнормального распределения;
- на интервале $[-3; 3]$ — для нормального распределения.

Ключевые временные характеристики технологических операций определялись с

использованием следующих зависимостей:

- время подачи порожнего контейнера отправителю;
- время нахождения контейнера под грузовыми операциями;
- время накопления загруженных контейнеров;
- время формирования и подготовки поезда к отправке.

Расчеты выполнялись с учетом стохастического характера процессов, что позволило адекватно отразить реальные условия функционирования контейнерных терминалов.

Для обработки результатов моделирования использовались методы сравнительного анализа и интерпретации полученных данных, что позволило оценить влияние технологии блок-трейнов на сокращение простоев контейнеров, повышение скорости обработки грузов и эффективность работы терминальной инфраструктуры.

3. Результаты и обсуждения

Имитационная модель работы железнодорожного терминала для организации грузоперевозок контейнерным блок-трейном может стать применением платформы anyLogic, которая включает в себя системы моделирования по управлению движением блок-трейна. Создаем новую модель контейнерного блок-трейна на железнодорожном терминале.

Модель можно создать и в двухмерном пространстве, добавив контейнеры и железнодорожные пути (рисунок 1).

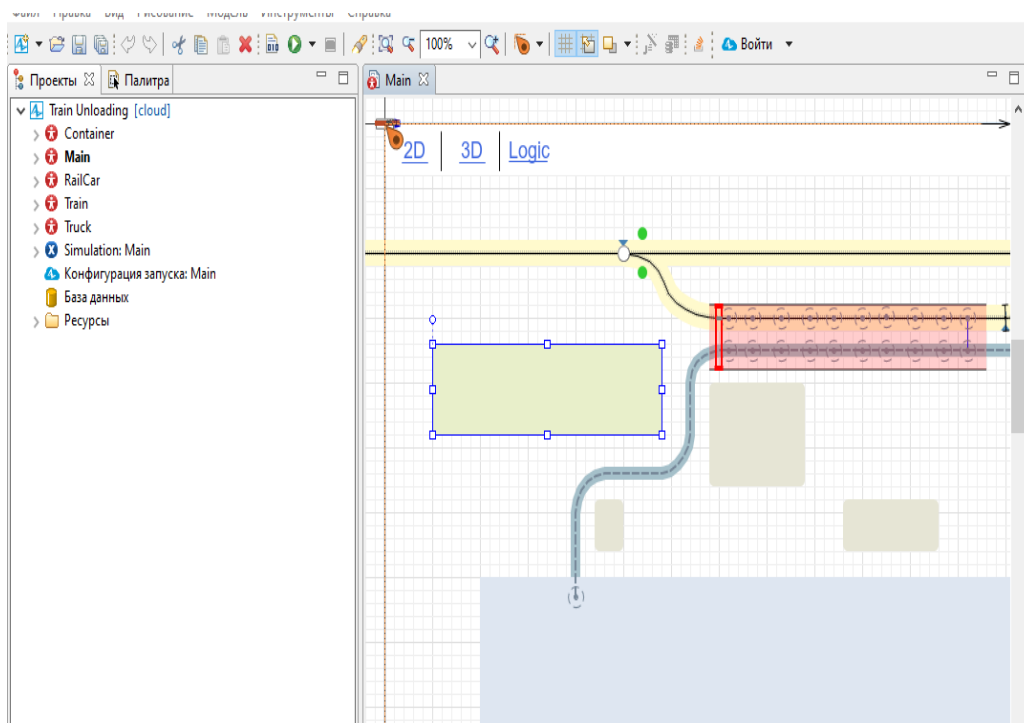


Рис. 1. Моделирование блок-трейна в двухмерном пространстве

Моделируем сортировку вагонов, задаём параметры

поезда и вагонов (рисунок 2).

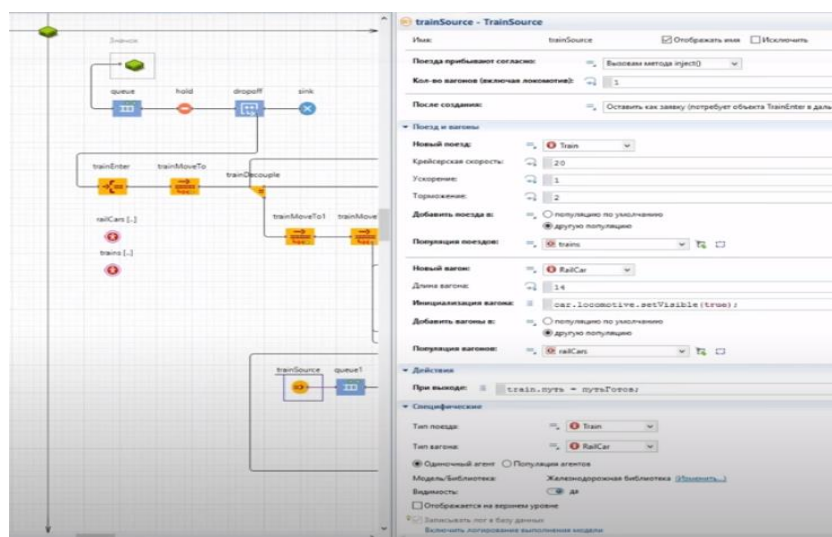


Рис. 2. Процесс моделирования параметров поезда и вагонов

Выводим данные на экран (рисунок 3).

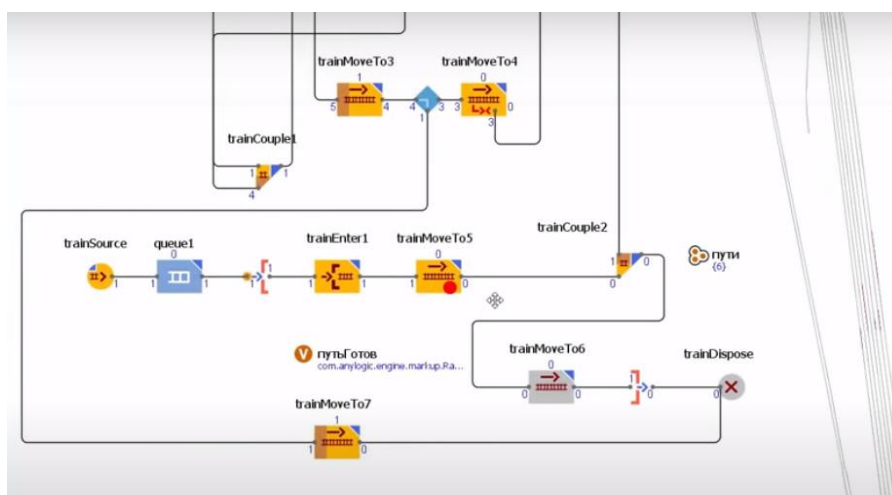


Рис. 3. Модель движения блок-трейна

Используем блок TrainMoveTo, чтобы промоделировать движение локомотива.

Задав путь можно определять параметры контейнеров поезда.

Также можно проследить данные на карте. Задаём параметры:

- станция отправления: Кармана;
- станция назначения: Тимирязов.

Общий километраж: 723 км, движение: Кармана – Навои (17 км), Навои – Нурбук (102 км), Нурбук –

Мароканд (36 км), Мароканд – Самарканд (18 км), Самарканд – Джизак (113 км), Джизак – Хаваст (89 км), Хаваст – Сырдырьинская (72 км), Сырдырьинская – Мехнат (10 км), Мехнат – Узбекистан (49 км), Узбекистан – Тукимачи (17 км), Тукимачи – Озодлик (56 км), Озодлик – Ангрен (58 км), Ангрен – Темирйулбод (86 км).

Рассмотренные маршруты движения блок-трейна представлены на рисунке 4.



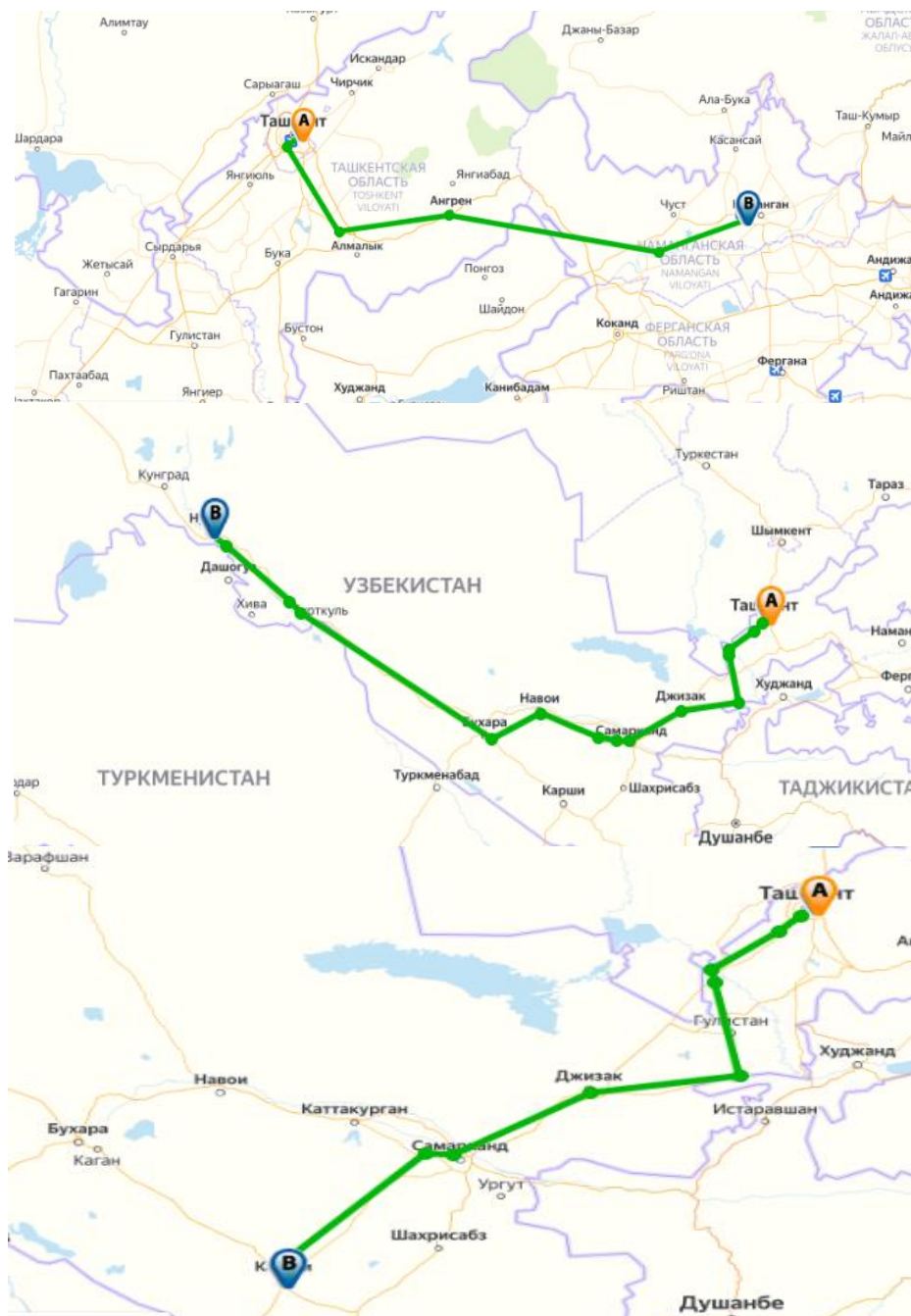


Рис. 4. Моделируемые маршруты движения блок-трейна

Было проведено значительное количество (25) численных экспериментов, основанном на данных по АО «Ўзбекистон темир йўллари». Для поэтапного расчета был применен метод статистических испытаний.

Принимая в учет, информацию по анализируемому терминалу АО «Ўзбекистон темир йўллари», ниже представлено равенство, которое описывает и определяет заявку отправителям груза на подачу порожнего контейнера (в сут.):

$$t_{10} = 2.80 \times e^{0.196(\sum_{i=1}^n Z_i - \alpha)} \quad (1)$$

Коэффициент Z показывает случайный индекс (величину). Этот коэффициент находится равномерно

по интервалу $[0; 1]$ для логнормального закона распределения и на интервале $[-3; 3]$ для нормального закона распределения.

Контейнерное расположение у отправителя груза под операциями (ввоз/вывоз) в сутки может быть определена как:

$$t_{21} = 0.28 + 0.08 \times Z \quad (2)$$

Ниже будет определен простой уже загруженного контейнера под накоплением, (сут):

$$t_{42} = 2.87 \times e^{0.197(\sum_{i=1}^n Z_i - \omega)} \quad (3)$$

Ниже представлена формула (расчет) для выявления

операции по подготовке и по формированию к отправке поезда с контейнерным грузом:

$$t_{63} = 1.53 + 0.23Z \quad (4)$$

Представленная в работе методика дала возможность спрогнозировать общую продолжительность оборота контейнерного грузопотока на базе блок-трейна. Методика на базе блок-трейна, в данном случае, это имитация запуска блок-трейна Узбекистана, с позиции железнодорожных сетей данного региона.

4. Заключение

По результату было выявлено, что технология блок-трейна уменьшает время простоя контейнеров, которые находятся в ожидании вывоза, сокращается время на ожидание выгрузки контейнеров, находящихся на терминале.

В свою очередь, согласно показанным расчетам, при повышении резерва примерно на 15% - простой увеличивается примерно на 4,03 часов. Терминальный простой уменьшается до 8,56 часов. И высвобождение дополнительных 4,5 час происходит по причине увеличения скорости сортировочного процесса контейнеров на терминале в процессе обслуживания клиентов.

Система блок-трейн формирует, так называемый, технологический перерыв, который дает возможность предельно увеличить скорость сервиса на терминале, сокращая количество минут в процессе приема контейнеров груза. Тем самым, ускоряется погрузка и отправка контейнеров. Экономия, в целом, при использовании системы блок-трейна, прохождения пути контейнером, составит порядка 4,5 часов.

Модель была спроектирована для контейнерного терминала Узбекистана, на примере площадки АО «Ўзбекистон темир йўллари», в частности, были смоделированы потоки груза посредством применения системы блок-трейна.

Эта модель создана в целях прогноза, базированного на заданных вероятностях надежности, прежде всего, выгрузки грузовых контейнеров терминалов, в частности, и вывода объемов погрузки контейнеров. Модель, также, поможет спрогнозировать общее количество контейнеров за сутки, которые, обычно, ожидают выгрузку по годам и месяцам. Все это позволит разработать и внедрить эффективные стратегические решения в управлении всем процессом.

При этом, видоизменяя различные управляемые исходные параметры этой модели, в целом, будет допустимо прогнозировать и имитировать поведение всей блок-трейн системы в абсолютно разных условиях и ситуациях в вопросах организационного процесса работы терминала.

Использованная литература / References

- [1] Конкурентоспособность транспортной компании - контейнерного оператора: монография / В.И. Апатцев, И.М. Басыров; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Рос. открытая акад. транспорта. — Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2023. ISBN 978-5-7473-1150-3.
- [2] М.О. Малыхин, А.В. Кириченко. Обоснование исходных данных при моделировании вывоза контейнеров из порта на тыловой терминал с применением технологии «блок-трейн». - СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2019. - 184 с
- [3] Покровская О. Д. Особенности продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского узла // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 34–51.
- [4] Мухамедова, З.Г. К вопросу о развитии транспортной инфраструктуры Узбекистана / З.Г. Мухамедова, З.В. Эргашева // Научно-технический журнал Известия Трансиба 2021. №2(46) С.105-113 ISSN 2220-4245
- [5] Economic and mathematical model of container block-trains Mukhamedova, Z., Ergasheva, Z. AIP Conference Proceedings, 2023, 2624(1), 040005 DOI: 10.26739/2181-9696-2021-3-5
- [6] Ergasheva, Z.V. (2026). Simulation of Cargo Transportation Using Container Block Train Technology. In: Shumarov, S.S. (eds) Smart Transport Systems and the Digital Economy Infrastructure. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-12181-3_13
- [7] Гозбенко, В.Е., Белоголов, Ю.И., Оленцевич, В.А. Анализ уровня надежности и устойчивости организационно-технических систем перевозочного процесса железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. №1 (57). – 260.
- [8] Эргашева З.В. Моделирования грузоперевозок с использованием технологии контейнерного блок-трейна // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2023. 5(110). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15420>.

Информация об авторах/ Information about the authors

Ergasheva Zahro Ташкентский государственный транспортный университет, Доцент кафедры «Транспортно-грузовые системы»
Valijonovna / Zahro
Ergasheva
E-mail: zahro2@yandex.ru
Тел.: +99897 7162322
<https://orcid.org/0000-0003-1651-0892>



Secondary use of worn BelAZ tires for lining mining dump truck bodies to prevent adhesion of rock mass

M.Z. Ubaydullaev¹, E.I. Ruklinskaya¹, U.D. Kosimov², N.N. Yodgorov¹, N.I. Khavasova¹

¹ Branch of the National University of Science and Technology MISIS in the city of Almalyk, Almalyk, Uzbekistan

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Wet clayey rock sticks to the steel bodies of BelAZ mining trucks, freezes onto them in winter, and is abraded away by large lumps. The result is a lower effective payload — part of the load rides back into the pit (carry-back) — together with cleaning downtime and repair costs. A second problem sits right next door: worn ultra-large tires that barely decompose and are hard to send to an ordinary landfill. We propose lining the body with rubber reclaimed from such tires and compare two ways of making it — cutting segments from the tread (the steel cord stays inside as reinforcement) and molding plates from rubber crumb on a polyurethane binder. By our estimates, such a lining together with exhaust-gas heating of the body cuts carry-back by a factor of two to three, lowers floor wear and loading noise, and — for the cutting route — pays back in under two years. Exact figures should be refined against a specific operation's data.

Keywords: mining dump truck, body, lining, adhesion, freezing, ultra-large tires (ULT), BelAZ, industrial waste recycling, wear resistance, circular economy

Вторичное использование изношенных шин БелАЗ для футеровки кузовов карьерных самосвалов с целью предотвращения налипания горной породы

Убайдуллаев М.З.¹, Руклинская Е.И.¹, Косимов У.Д.², Ёдгоров Н.Н.¹, Хавасова Н.И.¹

¹АФ НИТУ «МИСИС» в г. Алмалык, Алмалык, Узбекистан

²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Влажная глинистая порода прилипает к стальным кузовам карьерных самосвалов БелАЗ, зимой примерзает, а крупные куски истирают металл. Из-за этого падает фактическая загрузка — часть груза возвращается в забой (так называемый carry-back), — растут простои на очистку и расходы на ремонт. По соседству с разрезами зреет другая проблема: отслужившие крупногабаритные шины, которые почти не разлагаются и которые трудно вывезти на обычный полигон. Мы предлагаем закрывать кузов обкладкой из резины таких шин и сравниваем два способа её изготовления — вырезку сегментов из протектора (стальной корд остаётся внутри как арматура) и формование плит из резиновой крошки на полиуретановом связующем. По нашим оценкам, такая обкладка вместе с обогревом кузова выхлопными газами в 2–3 раза уменьшает остаточный груз, снижает износ днища и шум при загрузке, а по варианту вырезки окупается менее чем за два года. Точные цифры должны уточняться по данным конкретного предприятия.

Ключевые слова: карьерный самосвал, кузов, футеровка, налипание (адгезия), примерзание, крупногабаритные шины (КГШ), БелАЗ, переработка отходов, износостойкость, экономика замкнутого цикла

1. Введение

Открытые горные работы держатся на самосвалах БелАЗ — без них вскрышу и руду из карьера не вывезти. Беда в том, что влажная глинистая порода охотно прилипает к стальному днищу и бортам. Часть груза не высыпается при разгрузке и едет обратно в забой; в горном деле это называют остаточным грузом, или carry-back. Кузов фактически недогружается, и каждый рейс приносит меньше, чем мог бы.

Зимой становится только хуже: мокрая глина примерзает к металлу, и кузов приходится очищать вручную, теряя время дорогой машины. К этому добавляется истирание — крупные куски при погрузке

экскаватором бьют по днищу и бортам, металл изнашивается, ремонт стоит денег.

Рядом зреет ещё одна проблема. Карьерные шины ходят недолго и быстро превращаются в отвалы у борта разреза. Резина в них практически не разлагается естественным путём, а сама шина слишком велика и армирована сталью, чтобы её принял обычный полигон. В итоге площадки годами заняты тем, что по сути является сырьём, а не мусором.

Отсюда и замысел работы: то, что мешает, превратить в то, что помогает. Резина по природе плохо смачивается глиной и пружинит — к ней липнет заметно меньше, чем к стали, а при подъёме кузова налипший слой легче отрывается сам. Поэтому мы предлагаем закрывать рабочие поверхности кузова обкладкой из



переработанной шинной резины и показываем, что это решает сразу две задачи — убирает опасный отход и снижает эксплуатационные потери.

2. Методика исследования

Сырьё — отслужившие шины тех типоразмеров, что работают на предприятии (27.00R49, 33.00R51 и близкие). Просто переплавить их, как термопласт, нельзя: резина сшита необратимо, а внутри сидят мощный стальной брекер и бортовые кольца. Поэтому путей всего два, и от выбора между ними зависит вся экономика.

Вариант А. Целые плиты-вырезки из протекторной части (механический раскрой).

Из беговой дорожки шины попросту выкраивают куски резины и крепят их на кузов. Порядок такой: помыли шину, отрезали боковины с бортовыми кольцами, раскроили протекторное кольцо на сегменты (гидроножницы, ленточная пила, а по металлокорду лучше всего гидроабразив), выровняли толщину, насверлили отверстия — и на болты, внахлёт или встык. Стальной корд брекера остаётся внутри сегмента и работает как готовая арматура. Плюсы очевидны: почти никакого оборудования и заводская вулканизация, то есть максимальная износостойкость. Минус — сегменты получаются кривыми (повторяют профиль шины) и небольшими.

Вариант Б. Формованные плиты из резиновой крошки на связующем.

Здесь шину дробят, очищают от металла и текстиля и формуют новые плиты на полиуретановом связующем. Стадий пять: резка и грубое дробление (50–150 мм); магнитная и воздушная сепарация (убирают корд и нити); тонкий помол в грануляторе (5–20 мм); смешивание крошки со связующим (полиуретановый преполимер, около 8–12 %); прессование — холодное или горячее (140–160 °С, 5–15 МПа). Зато плиты выходят плоскими и любого размера. Расплата — износостойкость ниже, чем у «родной» вулканизированной резины, да и оборудование дороже.

Конструктивное и технологическое усиление.

Там, где удар сильнее всего — днище под ковшом, кромки бортов, — мы предусмотрели комбинацию: основной массив резиновый, а в самых нагруженных точках вставки или подложка из износостойкой стали. Крепёж разъёмный, чтобы менять плиты поштучно. От примерзания зимой спасает обогрев кузова выхлопными газами — на ряде моделей БелАЗ это штатная опция; тёплая поверхность не даёт глине прихватываться и заодно уменьшает налипание.

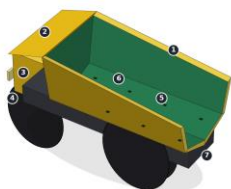


Рис. 1. Применение футеровки из переработанных КГШ на карьерном самосвале БелАЗ (3D-модель)

На модели показано, как износостойкая футеровка

из протекторной части изношенных шин закрывает днище и борта кузова карьерного самосвала. Зелёным выделена резиновая футеровка — рабочая поверхность кузова, жёлтым — стальной корпус машины. Цифрами 1–7 обозначены основные элементы (см. экспликацию ниже).

1	Резиновая футеровка из протектора КГШ — рабочая поверхность кузова
2	Защитный козырёк над кабиной
3	Кабина с остеклением
4	Лестница доступа
5	Болтовое крепление сменных плит
6	Зона контакта с горной массой — глина не налипает (слабая адгезия)
7	Сдвоенные задние колёса (шасси самосвала)

3. Результаты и обсуждения

Сведём вместе, что меняется при переходе со стального кузова на резиновую обкладку из КГШ (таблица 1).

Таблица 1
Сравнительные эксплуатационные показатели кузова

Показатель	Голый стальной кузов	Кузов резиновой футеровкой (КГШ)
Налипание влажной глины	Сильное	Слабое
Примерзание зимой	Сильное (без обогрева)	Слабое; устраняется при обогреве
Остаточный груз (сaguback)	до 3–5 % грузоподъёмности	снижение в 2–3 раза
Абразивный износ днища	Высокий	Снижен (демпфирование), ≥ 30 %
Масса защитного слоя	Тяжёлые стальные плиты	На 30–50 % легче
Уровень шума при загрузке	Высокий (до ~110 дБ)	Снижен на 5–10 дБ
Простои на очистку кузова	Частые	Существенно реже
Источник материала	Покупная сталь / СВМПЭ	Вторичная резина (отход)

Почему глина перестаёт держаться? Причины две. Во-первых, резина хуже смачивается — глина «цепляется» за сталь охотнее. Во-вторых, при подъёме кузова упругая обкладка чуть играет, и налипший пласт отслаивается. Та же упругость гасит удары, поэтому и днище изнашивается медленнее.

Таблица 2

Физико-механические свойства футеровочного материала из протекторной резины КГШ

Показатель	Значение
Твёрдость по Шор А	55–70 ед.
Предел прочности при растяжении	20–25 МПа
Относительное удлинение при разрыве	до 500–700 %
Плотность	1,1–1,2 г/см ³
Рабочий температур диапазон	от –40 до +80 °С (с обогревом кузова)
Армирование (вариант А)	металлокорд брекера сохраняется в сегменте

Запас по прочности и сопротивлению раздиру позволяет работать с крупными кусками, не боясь прорезать обкладку, а сохранённый в варианте А корд добавляет жёсткости.

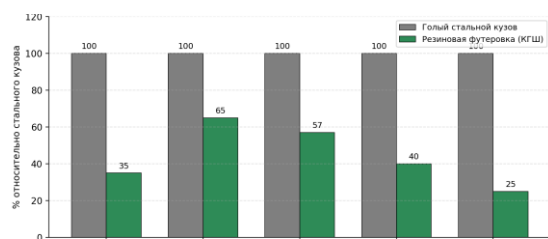


Рис. 2. Сравнение эксплуатационных показателей кузова (голый стальной кузов = 100 %)

4. Экономическое обоснование (предварительная оценка)

Считать «живую» пока нечего — точные цифры даст ТЭО по фактическим данным предприятия. Поэтому ограничимся прикидкой. Допустим, на один кузов нужно порядка 25–40 м² резинового полотна; с одной шины протекторного размера снимается несколько квадратных метров годного материала — значит, на кузов уйдёт примерно 5–10 списанных шин. По варианту А основные траты — это резка (лучше гидроабразивная) и крепёж; дорогого связующего и пресса не требуется вовсе.

Откуда берётся выгода:

- часть груза перестаёт «кататься» туда-обратно — фактическая масса за рейс растёт;
- реже нужно чистить кузов, а зимой уходит и проблема примерзания (вместе с обогревом);
- днище изнашивается медленнее — меньше ремонтов (ориентир — снижение износа от 30 %);
- покупные СВМПЭ и полиуретан замещаются бесплатным вторсырьём;
- снимаются расходы на хранение и утилизацию шин, исчезает экологический риск.

Сложив эффект по нескольким статьям при скромных вложениях варианта А, мы ожидаем окупаемость в пределах одного–двух лет. Подчёркнём: NPV, IRR и точный срок надо считать под конкретный парк и условия — приведённые рамки ориентировочны.

4. Заключение

Итог короткий. Резину отслуживших шин БелАЗ технически можно и экономически выгодно пускать на обкладку кузовов — и это не разовое решение, а способ закрыть сразу две дыры предприятия. Низкая адгезия и упругость резины снимают налипание, а обогрев кузова добавляет защиту от примерзания: остаточный груз падает в 2–3 раза. Демпфирование бережёт днище и борта от ударов и истирания, продлевая жизнь кузова.

Выбор технологии мы намеренно оставляем за условиями: вырезка протектора дешёва и сохраняет заводскую прочность, формованные плиты дают любую геометрию, а комбинация резины со стальными вставками закрывает зоны самого жёсткого удара. Наконец, само сырьё бесплатно и лежит рядом: вовлекая его в дело, предприятие убирает с площадок опасный отход и заодно снижает шум при погрузке и травмоопасность монтажа. Иными словами, отход становится ресурсом — а это и есть логика замкнутого цикла.

Использованная литература / References

- [1] И. В. Макаров, В. А. Щербаков. Инновационные технологии переработки крупногабаритных шин. — М.: Машиностроение, 2015.
- [2] B. S. Singh, “Environmental impacts of waste tire disposal and recycling methods,” *Journal of Environmental Management*, vol. 22, no. 4, pp. 450–462, 2018.
- [3] В. В. Цыбуля. Исследование износостойкости резиновых футеровок в условиях абразивного износа // Горный журнал. — 2022. — № 5. — С. 78–82.
- [4] А. Б. Петров, В. С. Сидоров. Сравнительный анализ стальной и резиновой футеровки // Журнал горного дела. — 2023. — № 3. — С. 112–118.
- [5] В. А. Воронов. Экономика и управление горным производством. — М.: Изд-во МГГУ, 2020.
- [6] Руководство по эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ: системы обогрева кузова отработавшими газами. — Жодино: БелАЗ, 2019.

Информация об авторах / Information about the authors

Убайдуллаев Музаффар Зайнулла угли / Muzaffar Ubaydullaev
Ассистент кафедры «Металлургия», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык
Тел.: +998 93 391 49 79
E-mail: muzaubaydullaev@gmail.com

Руклинская Елена Игоревна / Elena Ruklinskaya
Ассистент кафедры «Металлургия», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык
Тел.: +998939190281
E-mail: ruklinskayaelena97@yandex.ru

Косимов Умидбек Дилшод
Ассистент кафедры «Авиационный инжиниринг» Ташкентского



угли /
Umidbek
Kosimov

государственного
транспортного университета
Тел.: +99897 761 99 16

E-mail: umidbek.k@yandex.ru

Ёдгоров
Нусратилла
Нигмат угли
/ Nusratilla
Yodgorov

Студент кафедры
«Металлургия», Алмалыкский
филиал НИТУ «МИСИС», г.
Алмалык
Тел.: +998772759030

E-mail:

nusret.yodgorovich@gmail.com

Хавасова
Нихола /
Nikhola
Khavasova

Студент кафедры
«Металлургия», Алмалыкский
филиал НИТУ «МИСИС», г.
Алмалык

E-mail:

xavasovanihola@gmail.com



Improving the wear resistance of internal surfaces of slurry pumps in the flotation

M.Z. Ubaydullaev¹, E.I. Ruklinskaya¹, U.D. Kosimov², N.N. Yodgorov¹, N.I. Khavasova¹

¹ Branch of the National University of Science and Technology MISIS in the city of Almalyk, Almalyk, Uzbekistan

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The paper addresses the wear of the internal surfaces of the flow-path parts of slurry pumps operated in the flotation process at the Almalyk Mining and Metallurgical Combine (JSC «AGMK»). A comparative analysis of three chemical-thermal treatment (CTT) methods — nitriding, carbonitriding and boriding — was carried out for hardening of structural steels 45 and 30KhGSA. The structure, microhardness and wear resistance of the diffusion layers were studied. It was established that boriding provides the maximum surface microhardness (up to 20000–22000 MPa) while forming a thin (~70 μm) brittle two-phase layer prone to spalling under impact loading. Low-temperature carbonitriding in a salt melt at 570 °C forms a ~200 μm layer with a microhardness of 5000–8000 MPa that combines increased hardness with toughness, corrosion resistance and a smooth transition to the core. It is shown that carbonitriding provides uniform treatment of the internal cavities of geometrically complex parts that are inaccessible to line-of-sight methods, with minimal distortion. Carbonitriding is justified as the principal hardening method and boriding as a supplementary one for zones of tangential abrasive wear. The expected increase in service life of the parts is 2.4–3.6 times, with a payback period of less than one year.

Keywords:

chemical-thermal treatment, carbonitriding, boriding, nitriding, wear resistance, slurry pump, flotation, microhardness, hydroabrasive wear, diffusion layer

Повышение износостойкости внутренних поверхностей грунтовых насосов флотационного передела методами химико-термической обработки

Убайдуллаев М.З.¹, Руклинская Е.И.¹, Косимов У.Д.², Ёдгоров Н.Н.¹, Хавасова Н.И.¹

¹АФ НИТУ «МИСИС» в г. Алмалык, Алмалык, Узбекистан

²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

Рассмотрена проблема износа внутренних поверхностей деталей проточной части грунтовых насосов, эксплуатируемых на флотационном переделе АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат». Выполнен сравнительный анализ трёх методов химико-термической обработки (ХТО) — азотирования, карбонитрации и борирования — применительно к упрочнению конструкционных сталей 45 и 30ХГСА. Исследованы строение, микротвёрдость и износостойкость диффузионных слоёв. Установлено, что борирование обеспечивает максимальную поверхностную микротвёрдость (до 20000–22000 МПа) при тонком (~70 мкм) хрупком двухфазном слое, склонном к выкрашиванию при ударном воздействии. Низкотемпературная карбонитрация в расплаве солей при 570 °C формирует слой толщиной ~200 мкм с микротвёрдостью 5000–8000 МПа, сочетающий повышенную твёрдость с вязкостью, коррозионной стойкостью и плавным переходом к сердцевине. Показано, что карбонитрация обеспечивает равномерную обработку внутренних полостей деталей сложной формы, недоступных для методов прямой видимости, при минимальных деформациях. Обоснован выбор карбонитрации в качестве основного метода упрочнения, а борирования — как дополнительного для зон касательного абразивного изнашивания. Ожидаемое увеличение ресурса деталей составляет 2,4–3,6 раза при сроке окупаемости затрат менее одного года.

Ключевые слова:

химико-термическая обработка, карбонитрация, борирование, азотирование, износостойкость, грунтовый насос, флотация, микротвёрдость, гидроабразивное изнашивание, диффузионный слой

1. Введение

Грунтовые (пульповые) насосы являются ключевым оборудованием обогатительных фабрик, обеспечивая межоперационный транспорт абразивной пульпы на всех стадиях измельчения и флотации. Надёжность насосного оборудования напрямую определяет

производительность передела, поскольку выход из строя одного насоса в технологической цепочке приводит к остановке участка. Основной причиной выхода насосов из строя является интенсивное гидроабразивное и эрозионное изнашивание внутренних поверхностей деталей проточной части — рабочих колёс, бродисков и корпуса-улитки,



контактирующих с потоком пульпы, содержащей твёрдые минеральные частицы [1, 2].

Интенсивность изнашивания деталей возрастает с увеличением скорости потока (приблизительно пропорционально третьей степени скорости), концентрации и крупности твёрдой фазы. Эрозионное разрушение зависит также от угла атаки частиц: для пластичных материалов максимум износа приходится на средние углы (около 30°), для хрупких — на нормальный удар [2, 3]. Перерабатываемые на фабриках АО «Алмалыкский ГМК» медно-молибденовые и полиметаллические руды содержат значительное количество кварца, что обуславливает высокую абразивность пульпы и малый ресурс деталей.

Традиционные способы борьбы с износом имеют существенные ограничения. Объёмно-упрочнённые материалы (высокохромистые и никельхромистые чугуны) обладают высокой абразивной стойкостью, но хрупки, плохо обрабатываются и чувствительны к ударным нагрузкам [1]. Эластомерные футеровки эффективны лишь на тонкодисперсных пульпах и непригодны при наличии крупного абразива. Наплавка и газотермическое напыление (HVOF) формируют толстые износостойкие слои, однако работают по принципу прямой видимости и не позволяют качественно обрабатывать внутренние полости и узкие каналы деталей сложной формы; кроме того, покрытиям свойственны остаточная пористость и риск отслаивания [4].

Химико-термическая обработка (ХТО) — диффузионное насыщение поверхностного слоя металла азотом, углеродом или бором — лишена указанного недостатка. Упрочнённый слой формируется в самом металле детали, прочно связан с основой и не склонен к отслаиванию [5, 6]. При проведении процесса в расплаве солей насыщение происходит одновременно на всех смоченных поверхностях детали независимо от их доступности, что обеспечивает равномерное упрочнение внутренних полостей. Целью настоящей работы является сравнительная оценка методов ХТО (азотирования, карбонитрации и борирования) и обоснование рационального способа повышения износостойкости внутренних поверхностей грунтовых насосов.

2. Методика исследования

Объектом исследования служили образцы из углеродистой стали 45 и легированной стали 30ХГСА, моделирующие материал деталей проточной части насосов. Химический состав сталей приведён в таблице 1. Сталь 30ХГСА перед химико-термической обработкой подвергали предварительной термообработке — закалке с высоким отпуском на структуру зернистого сорбита, обеспечивающую прочную и вязкую сердцевину.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей, % (масс.)

Марка стали		C	Cr	Mn	Si / прочие
Сталь 45		0,42–0,50	≤0,25	0,50–0,80	0,17–0,37; Fe — осн.
30ХГСА		0,28–0,34	0,80–1,10	0,80–1,10	0,90–1,20; Fe — осн.

Сравнивали три вида химико-термической обработки. Газовое азотирование проводили при температуре 500–520 °С. Низкотемпературную карбонитрацию выполняли в расплаве солей при 570 °С в течение 1,5–2,5 ч с последующим охлаждением на воздухе или в масле; в качестве основы расплава использовали цианат и карбонат калия, а в более безопасном варианте — карбамид в сочетании с карбонатом калия. Жидкостное безэлектролизное борирование проводили при 950 °С в течение 4 ч с охлаждением на воздухе.

Строение упрочнённых слоёв изучали металлографически на оптическом микроскопе при увеличении 200 крат после травления в 3–4-процентном растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Микротвёрдость измеряли методом восстановленного отпечатка по Виккерсу при нагрузке 0,98–1,96 Н с построением профилей распределения по толщине слоя. Износостойкость оценивали по результатам испытаний на гидроабразивное изнашивание в суспензии кварцевого песка при различных углах атаки потока; мерой служила относительная износостойкость — отношение потери массы неупрочнённого образца к потере массы упрочнённого. Результаты обрабатывали методами математической статистики при доверительной вероятности 0,95.

3. Результаты и обсуждения

Металлографическими исследованиями установлено, что азотирование и карбонитрация формируют диффузионные слои толщиной 200–300 мкм с тонким верхним слоем химических соединений и протяжённой диффузионной подзоной, обеспечивающей плавное снижение твёрдости к сердцевине. Борирование создаёт характерный двухфазный боридный слой игольчатого строения общей толщиной около 70 мкм, состоящий из поверхностной зоны боридов FeB (~35 мкм) и подслоя Fe₂B (~30 мкм). Переходная диффузионная зона практически отсутствует, вследствие чего твёрдость резко снижается до значений твёрдости сердцевины. Различие коэффициентов термического расширения боридов и растягивающие остаточные напряжения в фазе FeB обуславливают повышенную хрупкость боридного слоя и его склонность к выкрашиванию [7, 8].



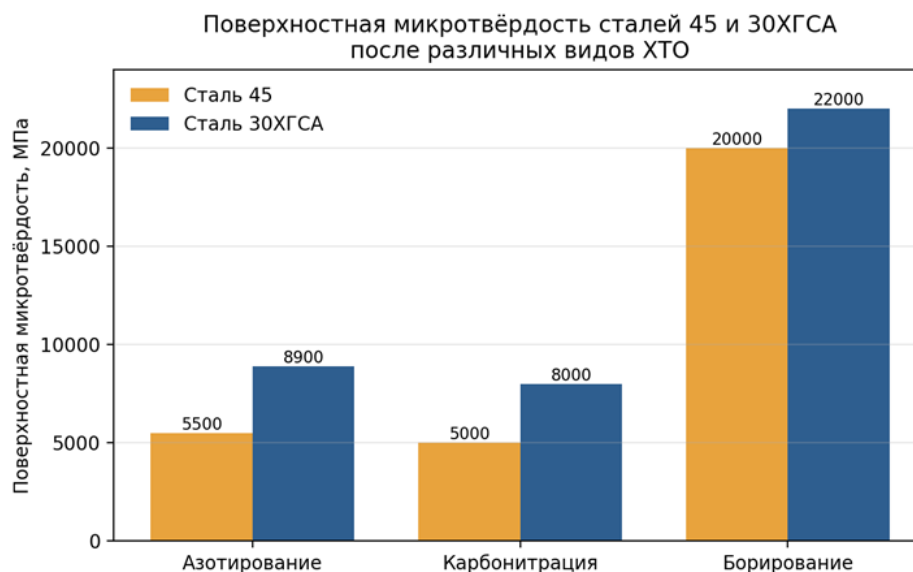


Рис. 1. Поверхностная микротвёрдость сталей 45 и 30ХГСА после различных видов ХТО

Результаты измерения поверхностной микротвёрдости приведены на рисунке 1. Борирование обеспечивает наивысшую твёрдость — до 20000 МПа для стали 45 и до 22000 МПа для стали 30ХГСА. Азотирование и карбонитрация дают умеренно высокую твёрдость: 5500 и 5000 МПа для стали 45 и 8900 и 8000 МПа для стали 30ХГСА соответственно. Прирост

твёрдости при переходе от углеродистой стали к легированной составляет около 60 % и объясняется образованием дисперсных специальных нитридов и карбонитридов хрома, марганца и кремния, обладающих более высокой твёрдостью и термической стабильностью, чем соединения железа [5].

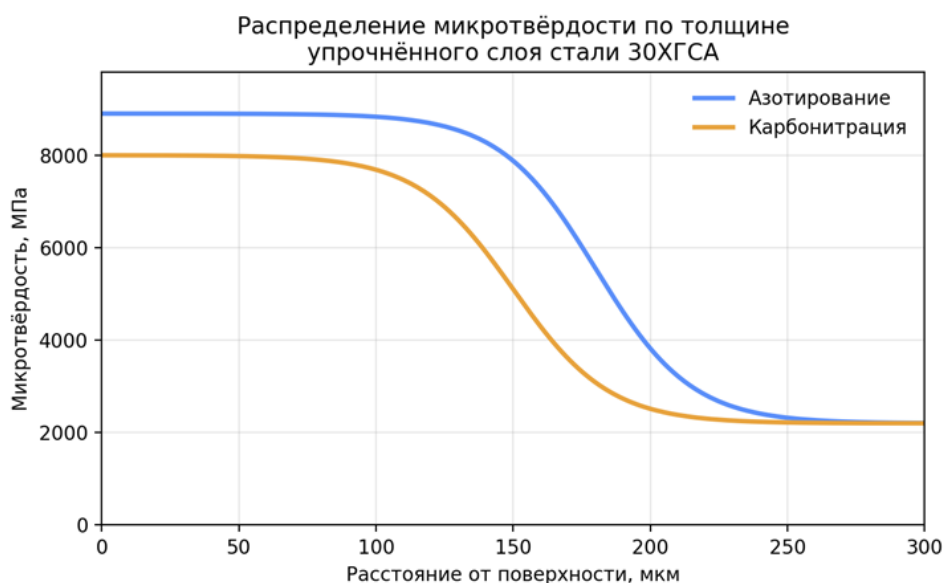


Рис. 2. Распределение микротвёрдости по толщине упрочнённого слоя стали 30ХГСА

Профили распределения микротвёрдости по толщине слоя (рисунок 2) подтверждают принципиальное различие методов: азотирование и карбонитрация формируют плавный переход твёрдости от поверхности к сердцевине на глубине 200–250 мкм, что обеспечивает хорошую несущую способность слоя и сопротивление выкрашиванию, тогда как боридный

слой характеризуется резкой границей. Поверхностный карбонитридный слой представлен преимущественно ϵ -карбонитридом железа $Fe_{2-3}(N,C)$, обладающим повышенной коррозионной стойкостью, что важно в условиях коррозионно-эрозионного воздействия пульпы [9].

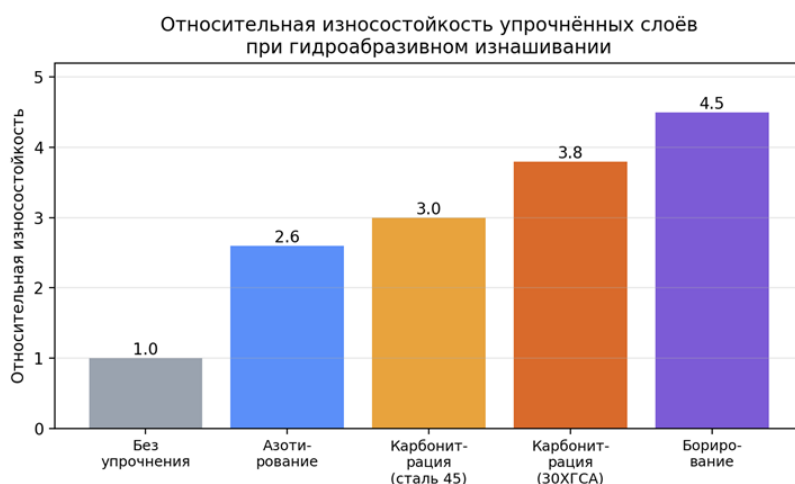


Рис. 3. Относительная износостойкость упрочнённых слоёв при гидроабразивном изнашивании

Результаты испытаний на гидроабразивное изнашивание (рисунок 3) показали, что наибольшую относительную износостойкость при касательном абразивном воздействии обеспечивает боридный слой (4,5). Однако для боридного слоя максимум интенсивности изнашивания смещён в область прямого удара ($\approx 90^\circ$), где хрупкий слой выкрашивается, и его

преимущество нивелируется [10]. Карбонитрированные слои, особенно на легированной стали 30ХГСА (3,8), обеспечивают высокую и стабильную износостойкость во всём диапазоне углов атаки без признаков хрупкого разрушения. Обобщённые характеристики упрочнённых слоёв приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики методов ХТО исследуемых сталей

Метод	Температура, °С	Толщина слоя, мкм	HV пов., МПа (45 / 30ХГСА)	Характеристика слоя
Азотирование	500–520	200–300	5500 / 8900	вязкий, плавный переход; длительный процесс
Карбонитрация	570	≈ 200	5000 / 8000	вязкий, коррозионно-стойкий; малые деформации; обработка внутренних полостей
Борирование	950	≈ 70	до 20000 / до 22000	сверхтвёрдый, хрупкий; разупрочнение сердцевины

Для упрочнения внутренних поверхностей деталей сложной формы решающее значение имеет совокупность технологических и эксплуатационных свойств. Низкотемпературная карбонитрация в расплаве солей уникально сочетает достаточную твёрдость с вязкостью и плавным переходом к сердцевине, повышенную коррозионную стойкость, малые деформации (вследствие низкой температуры процесса 570°C) и принципиальную возможность равномерной обработки глухих внутренних полостей рабочего колеса и улитки. Борирование, несмотря на максимальную твёрдость, протекает при 950°C , вызывает разупрочнение сердцевины и коробление, а хрупкий слой выкрашивается под ударами частиц, что ограничивает область его применения [7, 8, 10].

На основании полученных данных в качестве основного метода упрочнения внутренних поверхностей грунтовых насосов обоснована карбонитрация, а борирование рекомендовано как дополнительный метод для зон касательного абразивного изнашивания при малых ударных нагрузках. Целесообразен дифференцированный (зональный) подход, при котором

в каждой зоне детали реализуются сильные стороны соответствующего метода ХТО. Ожидаемое увеличение ресурса деталей при карбонитрации составляет около 2,4 раза, а при карбонитрации с одновременной закалкой сердцевины — до 3,6 раза, что сопоставимо с уровнем высокохромистого чугуна при существенно меньшей стоимости и большей технологичности. Технико-экономическая оценка показывает, что капитальные затраты на организацию участка упрочнения окупаются менее чем за один год эксплуатации.

4. Заключение

— Основной причиной выхода из строя деталей проточной части грунтовых насосов флотационного передела является гидроабразивно-эрозионное изнашивание внутренних поверхностей, что определяет необходимость их поверхностного упрочнения.

— Борирование обеспечивает максимальную поверхностную микротвёрдость (до 22000 МПа), но формирует тонкий (~ 70 мкм) хрупкий двухфазный слой

без переходной зоны, склонный к выкрашиванию при ударном воздействии и сопровождающийся разупрочнением сердцевины.

— Низкотемпературная карбонитрация формирует слой толщиной ~200 мкм с микротвёрдостью 5000–8000 МПа, сочетающий твёрдость с вязкостью, коррозионной стойкостью и плавным переходом к сердцевине; эффект упрочнения легированной стали 30ХГСА примерно на 60 % выше, чем углеродистой стали 45.

— В качестве основного метода упрочнения внутренних поверхностей деталей грунтовых насосов обоснована карбонитрация, обеспечивающая равномерную обработку внутренних полостей при минимальных деформациях; борирование рекомендовано как дополнительный метод для зон касательного абразивного изнашивания.

— Применение карбонитрации позволяет увеличить ресурс деталей в 2,4–3,6 раза при сроке окупаемости затрат менее одного года, что подтверждает эффективность предлагаемого решения для условий АО «Алмалыкский ГМК».

Использованная литература / References

- [1] Abulnaga B. E. *Slurry Systems Handbook*. — New York: McGraw-Hill, 2002. — 800 p.
- [2] Животовский Л. С., Смойловская Л. А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. — М.: Машиностроение, 1978. — 223 с.
- [3] Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. — М.: Наука, 1970. — 252 с.
- [4] Holmberg K., Matthews A. *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. — Amsterdam: Elsevier, 2009. — 560 p.
- [5] Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. — М.: Металлургия, 1985. — 256 с.
- [6] Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. — М.: Машиностроение, 1965. — 491 с.
- [7] Kulka M. *Current Trends in Boriding: Techniques*. — Cham: Springer, 2019. — 287 p.
- [8] García-León R. A., Martínez-Trinidad J., Campos-Silva I. Historical review on the boriding process using bibliometric analysis // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. — 2021. — Vol. 74. — P. 541–557.
- [9] Чудина О. В., Постнова Е. А. Сравнительный анализ методов химико-термической обработки для

упрочнения деталей машин // Сборник научных трудов МАДИ. — М., 2024.

[10] Ulutan M., Yildirim M. M., Çelik O. N., Buytoz S. Tribological properties of borided AISI 4140 steel with the powder pack-boriding method // *Tribology Letters*. — 2010. — Vol. 38, No. 3. — P. 231–239.

[11] Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. — М.: Машиностроение, 1966. — 331 с.

[12] Виноградов В. Н., Сорокин Г. М. Износостойкость сталей и сплавов. — М.: Нефть и газ, 1994. — 417 с.

Информация об авторах/ Information about the authors

Убайдуллаев Музаффар Зайнулла угли / Muzaffar Ubaydullaev	Ассистент кафедры «Металлургия», филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык Тел.: +998 93 391 49 79 E-mail: muzaubaydullaev@gmail.com
Руклинская Елена Игоревна / Elena Ruklinskaya	Ассистент кафедры «Металлургия», филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык Тел.: +998939190281 E-mail: ruklinskayaelena97@yandex.ru
Косимов Умидбек Дилшод угли / Umidbek Kosimov	Ассистент кафедры «Авиационный инжиниринг» Ташкентского государственного транспортного университета Тел.: +99897 761 99 16 E-mail: umidbek.k@yandex.ru
Ёдгоров Нусратилла Нигмат угли / Nusratilla Yodgorov	Студент кафедры «Металлургия», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык Тел.: +998772759030 E-mail: nusret.yodgorovich@gmail.com
Хавасова Нихола / Nikhola Khavasova	Студент кафедры «Металлургия», Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», г. Алмалык E-mail: xavasovanihola@gmail.com



Investigation of the mechanism and factors influencing the process of dephosphorization during the smelting of 20GL steel

N.K. Tursunov¹^a, N.K. Kodirova¹, Z.F. Rakhmatova¹, M.B. Abdulazizov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines the influence of hydrogen in 20GL cast steel on metal properties, as well as methods for reducing its content. Hydrogen is present in molten form within steel, and its excessive concentration causes the formation of flukes, internal cracks, and other structural defects. In the study, the thermodynamic state of hydrogen was modeled using Sivertz's law and interaction parameters based on the chemical composition of 20GL steel. The activity coefficient and equilibrium concentration of hydrogen were calculated, and it was found that an increase in temperature between 1848–1898 K increases the solubility of hydrogen in the metal. Based on the results obtained, the importance of optimizing the pouring temperature in limiting the amount of hydrogen is substantiated. The effectiveness of off-furnace argon blowing and vacuum treatment methods in reducing hydrogen was also analyzed. The research results serve as a scientific and practical basis for improving hydrogen control in the production of high-quality cast steel and preventing irreversible defects such as floken.

Keywords: steel grade 20GL, hydrogen degradation, Sieverts' law, thermodynamic modeling, activity coefficient, flakes, ladle metallurgy, argon purging, vacuum degassing

20GL markali po'lat tarkibidagi vodorodning metall xossalariga ta'siri hamda uni kamaytirish jarayonlarini tadqiq etish

Tursunov N.Q.¹^a, Qodirova N.Q.¹, Raxmatova Z.F.¹, Abdulazizov M.B.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada 20GL markali quyma po'lat tarkibidagi vodorodning metall xossalariga ta'siri hamda uning miqdorini kamaytirish usullari o'rganilgan. Vodorod po'lat tarkibida erigan holda mavjud bo'lib, uning ortiqcha konsentratsiyasi flokenlar, ichki yoriqlar va boshqa strukturaviy nuqsonlarning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Tadqiqotda 20GL po'latining kimyoviy tarkibi asosida vodorodning termodinamik holati Siverts qonuni va o'zaro ta'sir parametrlari yordamida modellashdirilgan. Vodorodning aktivlik koeffitsiyenti hamda muvozanat konsentratsiyasi hisoblanib, haroratning 1848–1898 K oralig'ida ortishi metallidagi vodorod eruvchanligini oshirishi aniqlangan. Olingan natijalar asosida quyish haroratini optimallashtirishning vodorod miqdorini cheklashdagi ahamiyati asoslab berilgan. Shuningdek, pechdan tashqari argon bilan puflash va vakuum ostida ishlov berish usullarining vodorodni kamaytirishdagi samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari yuqori sifatli quyma po'lat ishlab chiqarishda vodorod nazoratini takomillashtirish va floken kabi qaytarib bo'lmaydigan nuqsonlarning oldini olish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: 20GL markali po'lat, vodorod destruksiya, Siverts qonuni, termodinamik modellashdirish, floken, pechdan tashqari ishlov berish, argon bilan puflash

1. Kirish

Zamonaviy metallurgiya sanoatida po'lat va qotishmalar sifatini ta'minlash muammosi ilmiy va amaliy jihatdan tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Po'latning mexanik xossalari, xizmat muddati va ekspluatatsion ishonchligi ko'p jihatdan uning tarkibidagi gaz va gaz hosil qiluvchi elementlar, yani vodorod, azot va kislorod miqdori hamda taqsimlanish xususiyatlariga bog'liqdir. Ushbu gazsimon moddalalar orasida vodorod o'zining yuqori diffuzion harakatchanligi, kichik atom radiusi va metallga nisbatan yashirin, ammo zararli ta'siri tufayli alohida o'rin egallaydi. Aynan vodorod metall va qotishmalardagi nuqsonlarning eng xavfli turlaridan biri - ichki tuzilishdagi vodorod

yoriqlarini, ya'ni flokenlarni keltirib chiqarishi bilan mashhur bo'lib, metall ishlab chiqarishda to'g'rilab bo'lmaydigan bu nuqsonlar sirasiga kiradi. Makroshliflar yuzasiga ishlov berilganda 10 mm gacha bo'lgan kichik uzunlikdagi tukchalar ko'rinishida kuzatiladigan po'latning ichki yoriqlariga flokenlar deyiladi.

Mikroskopda qargalanda flokenlar juda mayda tishsimon qirrali yoriqlar ko'rinishida namoyon bo'ladi, bu esa yoriqlarning metall donalarining sirpanish tekisliklari bo'ylab siljishi natijasidir.

Flokenlar sinishda, ayniqsa termik ishlov berilgan po'latda oson topiladi, bunda ular umumiy mayda donali yoki tolali fonda kumushsimon ovalsimon dog'lar ko'rinishida ko'zga tashlanadi. Kumushsimon dog'lar ichki

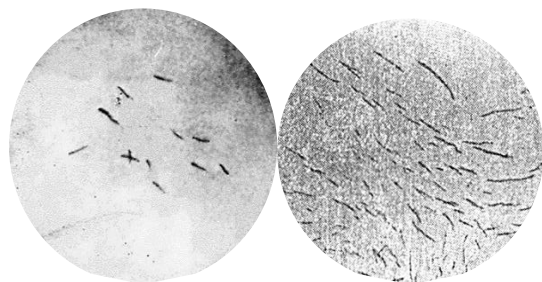
^a <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

yoriqlarning
(1-rasm).

devorlaridan

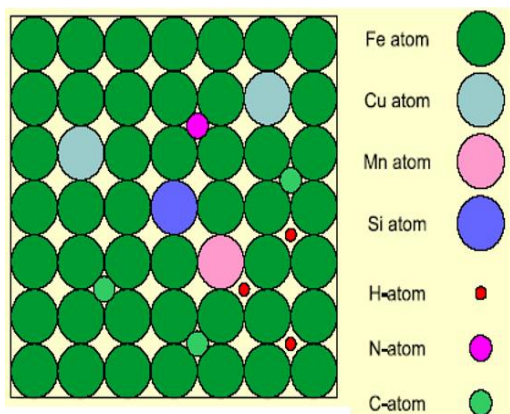
iborat

Vodorod temir va uning qotishmalarida atomar holatda, ya'ni kiritma eritmasi shaklida eriydi va uning eruvchanligi Siverts qonuniga bo'ysunadi. Qattiq metallarda vodorod bir necha ko'rinishda mavjud bo'ladi: kristall panjarasining bo'sh oraliq tugunlarida joylashgan erkin, diffuzion harakatchan atomar (proton) vodorod; vakansiyalar, dislokatsiyalar va fazalararo chegaralar bilan bog'langan atomar (kovalent) vodorod; mikrog'ovaklar va yoriqlar ichida molekulyar (H_2) holida joylashgan vodorod; hamda titan, sirkoniy, niobiy va nodir-yer metallari bilan kimyoviy birikma - gidridlar hosil qilib bog'langan vodorod. Har bir ko'rinish po'latning xossalriga turlicha ta'sir ko'rsatadi va ularni nazorat qilish metallurgik jarayonning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.



1-rasm. Po'lat tuzilishidagi flokenlar

Vodorod miqdori va taqsimlanishi po'latda bir qancha xarakterli nuqsonlarni keltirib chiqaradi. Eng xavfli va keng tarqalgani - flokenlar bo'lib, ular ichki vodorod yoriqlar ko'rinishida namoyon bo'ladi. Flokenlar po'latning sinish sirtida kumushsimon dog'lar shaklida ko'rinishadi va GOST 10243 standartiga muvofiq templetin sindirilishi orqali aniqlanadi. Bu nuqson qaytarib bo'lmaydigan xususiyatga ega, ya'ni floken hosil bo'lgan po'latni qayta ishlov berib tiklash mumkin emas. Bundan tashqari, vodorod metall ichida vodorod g'ovaklari va pufakchalar ham hosil qilishi mumkin. Qaysi nuqson turi paydo bo'lishi po'latdagi vodorod miqdori va prokat qalinligiga bog'liq: qalin kesimli (50 mm dan yuqori) konstruktiviyalarda - balkalar, relslarda - floken xavfi eng yuqori bo'lib, 28-40 ppm dan ortiq vodorod konsentratsiyasida yuzaga keladi; o'rtacha qalinlikdagi (18-28 mm) quvurli va kema po'latlarida - vodorod g'ovaklari xarakterli; yupqa (1-5 mm) sovuq va issiq prokatda esa vodorod pufakchalari dominant nuqson hisoblanadi.



2-rasm. Temirning γ -fazasidagi hajmi markazlashgan kubik kristall panjarasida erigan element atomlarining joylashish sxemasi

Vodorodning po'latga asosiy kirib kelish manbalari sifatida nam shlak hosil qiluvchi materiallar, ayniqsa yuqori gigroskopiklikka ega bo'lgan ohak, ferroqotishma va zanglagan metalloshixta, suvli sovutish tizimining germetik emasligi, shuningdek, metall vanna purkaladigan kislorod ko'rsatiladi. Shu boisdan metallurgik amaliyotda vodorod miqdorini kamaytirish uchun bir qancha usullar qo'llaniladi: oksidlanish davrida uglerod bilan (kamida 0,20–0,30 % C); metallni argon bilan puflash; pechdan tashqari vakuum ishlov berish; flokenga qarshi toblash va metallning ma'lum muddat saqlash usuli. RH vakuumator qurilmasida vakuumlash vaqtining oshishi bilan vodorod miqdori keskin kamayishi eksperimental ma'lumotlar bilan tasdiqlangan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Metall tarkibidagi vodorodni aniqlash uchun, 20ГЛ markali po'lat tanlandi. 1-jadvalda GOCT 22703-2012 hamda 32400-2013 bo'yicha ushbu markani kimyoviy tarkibi keltirilgan.

1-jadval

20GL po'lat kimyoviy tarkibi, % (mass.)

C	Si	Mn	P	S	Al	Fe
0,20	0,35	1,15	0,01 9	0,01 7	0,04 0	qolgani

Suyuq metallidagi vodorodning eruvchanligi Siverts qonuniga bo'ysunadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{1}{2}\{H_2\}=[H] \quad (1)$$

Bu (1) reaksiyaning Gibbs energiyasi (2) muvozanat konstantasi (3) ifodaga teng:

$$\Delta G = 36500 + 30,46T \quad (2)$$

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G}{2,3RT} = -\frac{(36500+30,46T)}{2,3 \cdot 8,314 \cdot T} \quad (3)$$

bu yerda: $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ - universal gaz doimiysi; T - absolyut harorat, K.

Ikkinchi tarafdin, 4-tenglamaga ko'ra muvozanat doimiysi $P=1 \text{ atm}$.da, (4) ifodaga teng:

$$K_p = \frac{a_H}{\sqrt{P_{H_2}}} = [H] \cdot f_H \quad (4)$$

Agar (4) ifoda logarifmlanib (3) ifodaga tenglashtirilib hamda amallar bajarilgandan so'ng (5) va (6) ifoda hosil bo'ladi:

$$\lg K_p = \lg [H] + \lg f_H \quad (5)$$

$$\lg [H] = \frac{1900}{T} - 1,59 - \lg f_H \quad (6)$$

bu yerda: $[H]$ – metal tarkibidagi vodorodning miqdori, %;

f_H – vodorodning aktivlik koeffitsiyentlari.

5-tenglamadan foydalanib turli harorat uchun muvozanat konstantasi hisoblanadi. Vodorodning aktivlik koeffitsiyentini turli haroratlarda hisoblash uchun 7-ifodadan foydalanildi.

$$\lg f_H = \frac{T}{1873} \cdot (e_H^C[C] + e_H^{Mn}[Mn] + e_H^{Si}[Si] + e_H^P[P] + e_H^S[S] + e_H^{Al}[Al]); \quad (5)$$



bu yerda: $e_H^R[R]$ – metal tarkibidagi [R] komponentining vodorod bilan ta'sirlashish parametri.

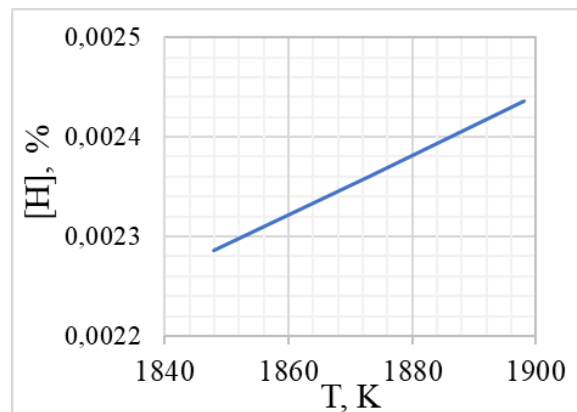
Metall tarkibidagi komponentlarning vodorod bilan ta'sirlashish parametrlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Birinchi tartibli ta'sirlashish parametrlari

e_H^R	[C]	[Si]	[Mn]	[P]	[S]	[Al]
e_H	0,06	0,027	-0,0014	0,011	0,008	0,013

Keltirilgan hisob-kitoblar asosida metall tarkibidagi vodorod miqdorini haroratga bog'liqlik grafigi 3-rasmda keltirilgan.



3-Rasm. Metal tarkibidagi vodorod miqdorini haroratga bog'liqlik grafigi

3-rasmda keltirilgan hisobiy natijalardan ko'rinadiki, 1848–1898 K harorat oralig'ida 20GL markali po'latdagi vodorodning muvozanat konsentratsiyasi muntazam ravishda ortib boradi. Haroratning oshishi bilan vodorodning suyuq temirdagi eruvchanligi ortishi Siverts qonuni bilan izohlanadi va bu holat metallning gazlarni yutish qobiliyatining kuchayishini ko'rsatadi. Hisoblash natijalariga ko'ra, mazkur harorat diapazonida vodorod miqdori taxminan 0,00229 % dan 0,00244 % gacha oshadi, ya'ni o'sish miqdori 6–7 % ni tashkil etadi. Bu esa quyish haroratining ortishi metallning vodorod bilan to'yinish xavfini sezilarli darajada kuchaytirishini ko'rsatadi. Natijada qotish jarayonida vodorodning ajralib chiqishi qiyinlashib, metall ichida flokenlar, mikroyoriqlar va gaz g'ovaklari hosil bo'lish ehtimoli ortadi. Shuning uchun yuqori sifatli quyma po'lat olishda quyish haroratini texnologik jihatdan maqbul darajada ushlab turish, shuningdek, pechdan tashqari argon bilan puflash va vakuumlash kabi degazatsiya usullaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Olingan natijalar 20GL markali po'lat ishlab chiqarishda vodorod miqdorini nazorat qilish va vodorod bilan bog'liq nuqsonlarning oldini olish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

3. Xulosa

Ushbu maqolada po'latdagi vodorodning miqdori ko'rsatkichlari, uning kristall panjara bilan o'zaro ta'siri, turli qotishma elementlarining vodorod eruvchanligiga ta'siri, vodorod keltirib chiqaradigan nuqsonlarning tasnifi hamda ularning oldini olishga qaratilgan zamonaviy metallurgik usullar chuqur o'rganildi.

Vodorod miqdorini kamaytirish bo'yicha metallurgik usullar tahlili asosida eng samarali yondashuv - pechdan tashqari vakuum ishlov berish, metallni argon bilan ko'rsatildi. Xususan, argon bilan puflash usuli alohida ahamiyat kasb etadi: kovsh yoki pechning tubiga o'rnatilgan g'ovak tosh orqali suyuq metall ichiga yuborilgan argon pufakchalari metallda erigan vodorod va azotni ushlab yuqoriga chiqarib yuboradi, nometall qo'shimchalarni sirtga ko'taradi hamda metallning tarkibini bir xillaydi. Argonning inert gaz sifatida metall bilan hech qanday kimyoviy reaksiyaga kirmasligi uni ushbu jarayon uchun eng maqbul tanlov qiladi. Oksidlanish davrida kamida 0,20–0,30 % uglerodning oksidlanishi esa pechda qayta ishlov berishning majburiy bosqichi sifatida o'z ahamiyatini saqlaydi.

Xulosa qilib aytganda, po'latdagi vodorod muammosi - bu faqat kimyoviy yoki fizikaviy hodisa emas, balki xom ashyo tayyorlashdan tortib tayyor mahsulotni saqlashgacha bo'lgan barcha texnologik bosqichlarni qamrab oluvchi kompleks masaladir. Maqolada olingan natijalar yuqori sifatli po'lat ishlab chiqarishda vodorod nazoratini takomillashtirish va floken kabi qaytarib bo'lmaydigan nuqsonlarning oldini olishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqish uchun mustahkam ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Лунев В.В., Аверин В.В. Сера и фосфор в стали. М.: "Металлургия", 1988 г. -256 с.
- [2] К.В. Григорович, Т.В. Шибаева, А.М. Арсенкин. Влияние технологии раскисления трубных сталей на состав и количество неметаллических включений. Металлы. 2011. № 5. С. 164–170.
- [3] Григорян В. А., Стомахин А. Я., Уточкин Ю. И. и др. Физико-химические расчеты электросталеплавиельных процессов: Сб. задач с решениями. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС. - 2007. – 318 с.
- [4] Raxmatova, Z., Qodirova, N., & Tursunov, N. (2025). Cho 'yan turlarining kimyoviy tarkibi, mexanik xossalari va mikrotuzilishining kompleks tahlili. Journal of Transport, 2(4), 172-175.
- [5] Инновационное производство высоколегированной стали и сплавов: теория и технология выплавки стали в индукционных печах: учеб. пособие / А.Е. Семин, Н.К. Турсунов, К.Л. Косырев. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2017. – 166 с.
- [6] Tursunov, N., Qodirova, N., & Raxmatova, Z. (2025). 20GL markali po 'latning desulfuratsiyalash jarayonini tadqiq qilish. Journal of Transport, 2(4), 75-78.
- [7] Tursunov, N., Qodirova, N., Raxmatova, Z., & Urazbayev, T. (2025). 20ГЛ markali po'latni oksidsizlantirish va desulfuratsiyalash jarayonlarining termodinamik tahlili. Journal of Transport, 2(4), 268-272.
- [8] Urazbayev, T., Tursunov, N., & Tursunov, T. (2024, March). Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1, p. 060015). AIP Publishing LLC.
- [9] Valieva, D., Yunusov, S., & Tursunov, N. (2023). Study of the operational properties of the bolster of a freight car bogie. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 05017). EDP Sciences.



[10] Kayumjonovich, T. N. (2022). Non-metallic inclusions in steel processed with modifiers. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(5), 1848-1853.

[11] Toirov, O. T., Tursunov, N. Q., Nigmatova, D. I., & Qo'Chqorov, L. A. (2022). Using of exothermic inserts in the large steel castings production of a particularly.

[12] Турсунов, Н. К., & Тоиров, О. Т. (2021). Снижение дефектности рам по трещинам за счёт применения конструкции литниковой системы.

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

Tursunov Nodirjon /
Nodirjon Tursunov
Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasida mudiri, t.f.d., professor
E-mail:
Tel.: +998712990169
<https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>

Qodirova Nodira /
Nodira Kodirova
Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasida magistranti
E-mail:
nodiraqodirova300@gmail.com
Tel.: +998933807767

Raxmatova Zarifa /
Zarifa Rakhmatova
Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasida magistranti
E-mail:
zarirakhmatova@gmail.com
Tel.: +998999439905

Abdulazizov Muhammadjon /
Mukhammadjon Abdulazizov
Toshkent davlat transport universiteti "Materialshunoslik va mashinasozlik" kafedrasida magistranti
E-mail:
m.abdulazizov@autospring.uz
Tel.: +998998304930



Increasing the stability of the track through the use of elastic undercarriage gaskets

K.S. Lesov¹, A.S. Ibadullaev¹, Kh.O. Samandarov¹

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper considers the improvement of railway track durability through the application of resilient rail pads. The influence of increased axle loads and traffic intensity on the wear processes of rails, sleepers, fastening systems, and ballast is analyzed. Particular attention is paid to railway curves of small radius and rail joints, where the highest dynamic impacts occur. The design features and operational characteristics of Sylodyn resilient rail pads manufactured by Getzner Werkstoffe are investigated. The study shows that the use of resilient pads reduces dynamic loads, vibration and noise emissions, improves ride comfort, and increases the service life of track components. The feasibility of installing resilient rail pads in rail joint zones of jointed tracks on concrete sleepers is substantiated to reduce impact-vibration effects and improve track performance stability.

Keywords: railway track, track superstructure, rail pad, rail joint, vibration mitigation, dynamic loads, noise reduction, track durability, concrete sleeper

Повышение стабильности пути за счет применения упругих подрельсовых прокладок

Лесов К.С.¹, Ибадуллаев А.С.¹, Самандаров Х.О.¹

²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы повышения долговечности элементов верхнего строения железнодорожного пути за счет применения упругих подрельсовых прокладок. Выполнен анализ влияния повышенных осевых нагрузок и интенсивности движения поездов на процессы износа рельсов, шпал, промежуточных креплений и балластного слоя. Особое внимание уделено эксплуатации железнодорожного пути в кривых малого радиуса и в зоне рельсовых стыков, где наблюдаются наиболее высокие динамические воздействия. Установлено, что применение упругих элементов способствует снижению динамических нагрузок, уменьшению вибраций и шумового воздействия, повышению плавности движения подвижного состава и увеличению срока службы элементов верхнего строения пути. Обоснована целесообразность применения упругих подрельсовых прокладок в зоне рельсовых стыков уравнильных пролетов на железобетонных шпалах для снижения ударно-вибрационных воздействий и повышения стабильности работы железнодорожного пути.

Ключевые слова: Железнодорожный путь, верхнее строение пути, подрельсовая прокладка, рельсовый стык, вибрация, динамические нагрузки, шумовое воздействие, долговечность пути, железобетонная шпала

1. Введение

В современных условиях развития железнодорожного транспорта наблюдается устойчивый рост объемов пассажирских и грузовых перевозок. Увеличение грузонапряженности и скоростей движения поездов приводит к возрастанию динамического воздействия подвижного состава на элементы верхнего строения пути, что вызывает ускоренное накопление остаточных деформаций и преждевременный износ его конструктивных элементов [1].

Наиболее интенсивное развитие дефектов наблюдается в кривых участках пути малого радиуса, а

также в зоне рельсовых стыков, где вследствие воздействия вертикальных и горизонтальных сил возникают повышенные контактные напряжения, ударные нагрузки и вибрации. В результате ускоряется износ рельсов, промежуточных креплений, шпал и балластного слоя, что приводит к увеличению затрат на текущее содержание пути и снижению безопасности движения поездов [2].

Одним из перспективных направлений повышения долговечности железнодорожного пути является применение упругих подрельсовых прокладок, обеспечивающих перераспределение нагрузок между элементами верхнего строения пути и снижение

^a <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

^b <https://orcid.org/0000-0002-8089-2592>

^c <https://orcid.org/0009-0001-1147-0281>



динамического взаимодействия системы «колесо-рельс».

Применение упругих подрельсовых прокладок обеспечивает снижение динамических нагрузок, уменьшение уровня вибраций и шума, повышение комфорта пассажиров и увеличение межремонтных сроков службы элементов верхнего строения пути [3].

Особую актуальность использование подрельсовых прокладок приобретает на кривых участках малого радиуса, где вследствие действия значительных боковых сил происходит интенсивный износ наружной рельсовой нити и элементов рельсового крепления. Согласно результатам эксплуатационных наблюдений, на участках с радиусом менее 600 м и грузонапряженностью более 10 млн т брутто в год износ подрельсовых прокладок возрастает в среднем на 20 %, а уровень шумового воздействия увеличивается до 15 дБ.

В связи с этим исследование эффективности применения упругих подрельсовых прокладок для повышения долговечности железнодорожного пути и снижения эксплуатационных расходов является актуальной научно-технической задачей.

2. Методика исследования

Объектом исследования являлись упругие подрельсовые прокладки, предназначенные для снижения динамического воздействия подвижного состава на элементы верхнего строения железнодорожного пути.

Предметом исследования являлось влияние упругих подрельсовых прокладок на вибрационные характеристики рельсового пути, распределение нагрузок в зоне рельсового стыка и долговечность элементов верхнего строения пути [4].

Для достижения поставленной цели был выполнен анализ технической документации производителя, результатов эксплуатационных испытаний и опубликованных научно-технических исследований по применению упругих элементов в конструкциях железнодорожного пути.

Свойства подрельсовых прокладок

- Высокая допустимая механическая нагрузка при заданной эластичности
- Великолепные эксплуатационные характеристики в течение длительного периода времени
- Стандартные материалы обладают жесткостью в диапазоне 30 – 200 кН/мм в зависимости от области применения и геометрии
- Совместимость с опорами разных типов рельсовых креплений от различных производителей
- Соответствие всем критериям испытаний согласно применяемым стандартам [5].



Рис. 1. Рабочая поверхность прокладки

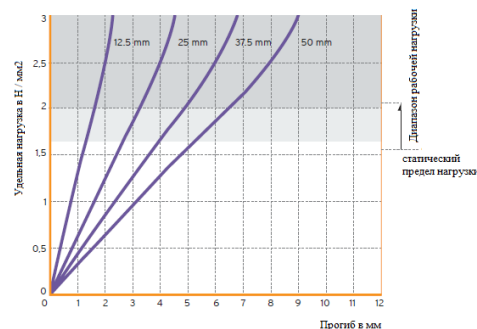


Рис. 2. Кривая зависимости нагрузки при $q=6$ кН/мм

3. Результаты и обсуждения

Анализ результатов измерений показал, что установка упругих подрельсовых прокладок приводит к существенному снижению динамических нагрузок, возникающих при прохождении колесных пар через рельсовый стык.

Во многих районах для адаптации трассы к профилю ландшафта вследствие его топографии приходится прокладывать значительную часть участков железнодорожных путей по дуге с малым радиусом, что представляет собой дополнительную нагрузку на железнодорожный путь.

Возникающие при этом боковые силы и изгибающие моменты на кривых железнодорожного пути непропорционально повышают нагрузку на элементы железной дороги. На узких поворотах радиусом менее 600 м при прохождении по ним минимум 10 миллионов тонн груза в год на обеих рельсовых нитях повышается износ эластичных подрельсовых прокладок – как на главных, так и на вспомогательных участках пути. Вследствие этого значительно снижается качество рельсового пути, в особенности, на внешней стороне колеи, прокладки в которой изнашиваются, в среднем, примерно на 20 % сильнее. Рельсы, расположенные на внутреннем радиусе поворота, больше склонны к волнообразной деформации. Кроме того, таким образом износившиеся рельсы производят приблизительно на 15 дБ (А) больше шума.

Эти отрицательное воздействие не ограничивается: износ подрельсовых прокладок приводит к усадке рельсов в шпалы и к разрушению промежуточных креплений и зоны подрельсовых прокладок. Подобные повреждения значительно сокращают срок службы верхнего строения пути.

На кривых участках пути часто можно наблюдать уклон рельса, так как результирующая сила всех вертикальных (Q) и боковых (Y) сил лежит за пределами опорной поверхности подрельсовой прокладки.

Предотвращение повреждений, увеличение срока службы верхнего строения пути.

При уменьшении жесткости железнодорожного пути с помощью упругих прокладок под подошву рельса (жесткостью до 200 кН/мм) обеспечивается лучшее сохранение промежуточных креплений, рельсов, а также шпал и нижнего строения железнодорожного пути.



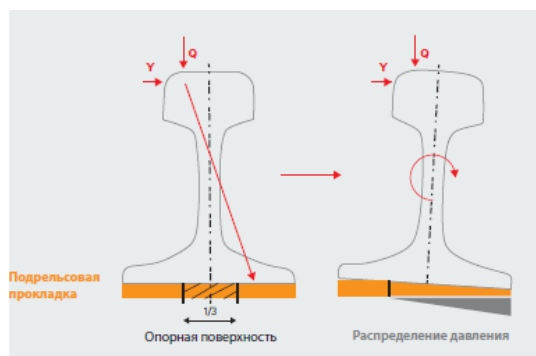


Рис. 3. Размещение подрельсовой прокладки на кривых участках

Как следствие, минимизируется образование волнообразной деформации и седловины. Пассажиры и персонал подвижных составов также ощущают эти улучшения. Комфорт во время поездки повышается, вибрация в поезде уменьшается, так как снижается взаимодействие между поездом и верхним строением пути.

Установлено, что наиболее интенсивные колебания возникают непосредственно в зоне стыкового соединения, где наблюдается локальное увеличение контактных напряжений между колесом и рельсом. При отсутствии упругих элементов ударные нагрузки передаются на шпалы, балластный слой и земляное полотно практически без демпфирования.

Применение подрельсовых прокладок обеспечивает снижение амплитуды вибраций за счет перераспределения нагрузки и увеличения времени контакта колеса с рельсом. В результате уменьшается интенсивность распространения колебаний в нижележащие конструкции пути.

Особенно заметный эффект наблюдается на кривых участках пути малого радиуса, где на наружной рельсовой нити возникают повышенные боковые силы. Благодаря дополнительной упругости подрельсовой зоны уменьшается концентрация напряжений в элементах промежуточного скрепления и снижается интенсивность износа рельсов.

Анализ эксплуатационных характеристик показал, что применение упругих прокладок способствует:

- уменьшению образования волнообразного износа рельсов;
- снижению интенсивности развития седловин в зоне стыков;
- уменьшению износа шпал и элементов рельсовых скреплений;
- увеличению межремонтных сроков службы верхнего строения пути;
- снижению уровня вибрации и шума при движении поездов.

На основании результатов исследований установлено, что наиболее рациональным вариантом является установка шести упругих подрельсовых прокладок симметрично относительно рельсового стыка. Такая схема обеспечивает наиболее равномерное распределение динамических нагрузок и максимальное снижение ударно-вибрационных воздействий.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения упругих подрельсовых прокладок в качестве средства повышения долговечности верхнего строения пути и снижения

эксплуатационных расходов железнодорожной инфраструктуры.

4. Заключение

Проведенный анализ показал, что использование упругих подрельсовых прокладок позволяет существенно снизить динамические нагрузки, передаваемые от подвижного состава на элементы верхнего строения пути.

Установлено, что применение материалов способствует уменьшению вибраций и шумового воздействия, повышению плавности движения поездов, снижению интенсивности износа рельсов, шпал и промежуточных скреплений, а также увеличению межремонтных сроков эксплуатации пути.

Наиболее эффективным является применение упругих подрельсовых прокладок в зоне рельсовых стыков и на кривых участках малого радиуса, где наблюдаются максимальные динамические воздействия. Рекомендуется размещение шести упругих прокладок симметрично относительно стыкового зазора для восприятия ударно-вибрационных нагрузок, возникающих при прохождении колесных пар через стык.

Полученные результаты подтверждают, что применение упругих подрельсовых прокладок является эффективным техническим решением для повышения надежности и долговечности железнодорожного пути, а также снижения эксплуатационных расходов на его содержание.

Использованная литература / References

- [1] Фишер, Ф. Хорват, «Стабилизация надстройки с балластной облицовкой с помощью геосеток», Венгерский журнал промышленной химии, Veszprem Vol. 39 (1), стр. 101-106 (2011)
- [2] Йоханнес Якобус Хеунис, «Модель материала для рельсовых площадок», представлен в университете Стелленбош (март 2011 г.)
- [3] Арнольд Д. Керр, «Определение модуля треков k для стандартного анализа треков», Департамент инженерных наук в области строительства и окружающей среды, Университет штата Делавэр, Ньюарк, DE19716
- [4] www.getzner.com
- [5] www.tiflex.co.uk.

Информация об авторах / Information about the authors

Лесов	Ташкентский государственный
Кувандик	транспортный университет
Сагинович /	к.т.н., профессор
Kuvandik	Email: kuvandikl@mail.ru
Lesov	https://orcid.org/0000-0002-9434-0713



Ибадуллаев Ташкентский государственный
Ахмаджон транспортный университет
Собирович / д.т.н., профессор
Akhmadjon E-mail: ibadullayev1957@bk.ru
Ibadullaev <https://orcid.org/0000-0002-8089-2592>

Самандаров Ташкентский государственный
Хушнудбек транспортный университет
Одилбекович E-mail: xushnudbek6600@mail.ru
/ <https://orcid.org/0009-0001-1147-0281>
Khushnudbek
Samandarov



The oscillatory process of the under-rail base for under-rail gaskets with different elasticity

K.S. Lesov¹^a, A.S. Ibadullaev¹^b, Kh.O. Samandarov¹^c

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article describes a feasibility study showing how effective the created diagnostic tools are for monitoring the condition of intermediate fastener nodes. The scientific and technical developments implemented in railway transport are described in terms of the effectiveness of their implementation and ensuring traffic safety. The economic efficiency of a single prevented derailment of rolling stock from damage to tracks and structures using the developed diagnostic tools is calculated, and the expediency of introducing diagnostic tools DS-F01 and DS-F02 to measure the forces of pressing the terminals of the Pandrol Fastclip fasteners on the bottom of the rail is determined, which ensure timely diagnosis of the condition of the track, increase train safety and prevent traffic accidents.

Keywords: fourier analysis, under-rail gasket, elasticity, high-speed motion, vibration accelerations, shock-absorbing gaskets

Колебательный процесс подрельсового основания при подрельсовых прокладках с разной упругостью

Лесов К.С.¹^a, Ибадуллаев А.С.¹^b, Самандаров Х.О.¹^c

²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье представлены результаты натурных испытаний подрельсовых прокладок с целью оценки влияния жесткости и количества штатных и опытных подрельсовых прокладок-амортизаторов на амплитудно-частотную характеристику колебаний, возникающих в балластном слое при движении подвижного состава. Для достижения поставленной цели проведено измерение вертикальных виброускорений, возникающих при проходе поездов при различном количестве стандартных подрельсовых прокладок-амортизаторов PF-8623 (штатных) и прокладок-амортизаторов повышенной упругости (опытных). На основании полученных значений определялась амплитудно-частотная характеристика колебательного процесса путём преобразования Фурье. Основные (несущие) частоты, на которых фиксируются максимальные амплитуды виброускорений, определяются, прежде всего, не материалом прокладки-амортизатора, а величиной силового воздействия. Применение опытных прокладок-амортизаторов позволяет снизить и перераспределить энергию колебаний, передающихся на балластный слой.

Ключевые слова: анализ фурье, подрельсовая прокладка, упругость, высокоскоростное движение, виброускорения, прокладки- амортизаторы

1. Введение

Из-за общемировой тенденции к увеличению объёма железнодорожных перевозок, скоростей поездов и осевых нагрузок, железнодорожный путь подвергается большим динамическим нагрузкам [1]. Это приводит к быстрому износу компонентов верхнего строения пути. Рельсовый стык – это узел, которому особенно трудно работать. В зоне рельсового стыка и окрестных шпал ударное воздействие от поездов сильно влияет на стабильность пути [2]. Чтобы решить эту проблему, используют упругие подрельсовые подкладки [3, 4, 5]. Эти прокладки делают из разных материалов: высокопрочного полиэтилена (HDPE), различных эластомеров, включая натуральный каучук и

полиуретан [6]; переработанной резины [7], армированной резины [8, 9]. В статье представлены результаты натурных испытаний подрельсовых прокладок, чтобы оценить, как жесткость и количество штатных и опытных подрельсовых прокладок-амортизаторов влияют на амплитудно-частотную характеристику колебаний в балластном слое в районе рельсового стыка при движении поездов. Для этого измерили вертикальные виброускорения, которые происходят, когда поезда проходят через зону рельсового стыка с различным количеством стандартных и опытных прокладок-амортизаторов. На основе этих данных была определена амплитудно-частотная характеристика колебательного процесса.

^a <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

^b <https://orcid.org/0000-0002-8089-2592>

^c <https://orcid.org/0009-0001-1147-0281>



2. Методика исследования

Объектом испытаний является зона рельсового стыка, находящегося на II главном пути станции Соби́р Рахимова. Земляное полотно представлено нулевым местом. Местом проведения испытаний являются II главный путь станции Соби́р Рахимова скоростной линии Ташкент – Самарканд. Измеряемыми параметрами являются вертикальные виброускорения в зоне рельсового стыка, в единицах g .

Для оценки вибрационного воздействия, возникающего в зоне рельсового стыка от проходящих поездов, измерительные датчики устанавливались в месте передачи колебаний от шпалы на балласт, т.е. на поверхности балласта у торца шпалы и в подрельсовом сечении на глубине 40 см от подошвы шпалы (на основной площадке земляного полотна). Схема размещения датчиков представлена на рисунке 1.

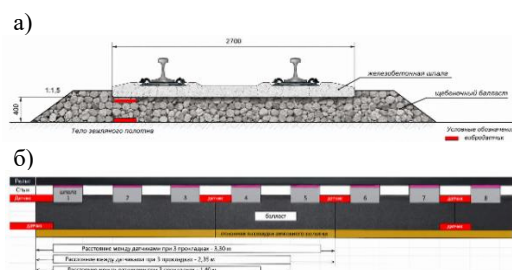


Рис. 1. Схема размещения вибродатчиков на экспериментальном участке: а-(поперечный разрез); б- (продольный разрез)

В каждой точке измерений производилась фиксация колебаний, распространяющихся в трех направлениях: в вертикальной плоскости, в горизонтальной поперек оси пути и горизонтальной вдоль оси пути. Сейсмоприемники устанавливались на выровненную площадку с точным соблюдением направлений измерения (вертикаль, горизонталь поперек и вдоль пути).

При движении поезда фиксировались время проезда, тип подвижного состава и его скорость.

Пассажирские поезда двигались по экспериментальному участку со скоростями 120- 140 км/ч, высокоскоростной электропоезд «Афросияб» (Talго) - 170 км/ч.

Для каждого типа подвижного состава в интервале и диапазоне скоростей движения выполнялось не менее двух измерений.

Измерения выполнялись помощью следующего комплекта оборудования: цифровой сейсмический регистратор сигналов ZET 048; портативный компьютер с лицензионным программным обеспечением; усилитель сигнала; источник питания 220 В (при необходимости).

На основании записей виброускорений, полученных при движении различных типов подвижного состава, путём преобразования Фурье получены амплитудно-частотные характеристики колебаний.

3. Результаты и обсуждения

По результатам измерения виброускорений в зависимости от типа подвижного состава, движущегося с различными скоростями и имеющими разную осевую

нагрузку построены сопоставительные диаграммы и выявлены зависимости, характеризующие уровень вибродинамического воздействия, возникающего при проходе поездов в зоне рельсового стыка и на удалении 3-х, 5-и, 7-и прокладок-амортизаторов при соответствующем количестве уложенных в путь новых стандартных прокладок-амортизаторов PF-8623 (штатных) и прокладок-амортизаторов повышенной упругости (опытных).

В результате Фурье-преобразования записей виброускорений, получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебательного процесса на основной площадке при проходе различных типов подвижного состава в зоне рельсового стыка с стандартными прокладками PF-8623, приведенные на рисунке 2 (а). Пример АЧХ, полученной при проходе «Афросияб» в зоне рельсового стыка с 5 опытными прокладками-амортизаторами, приведён на рисунке 2 (б).

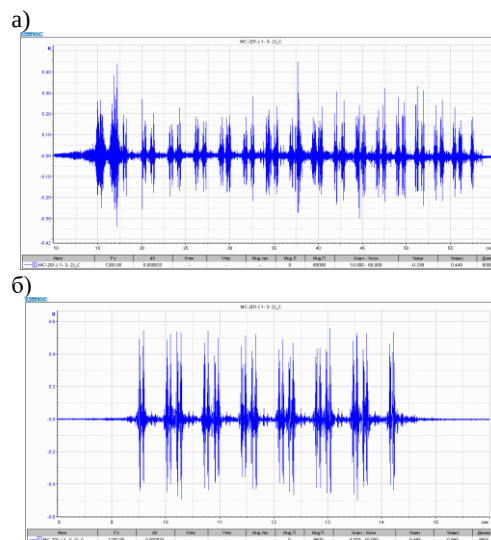


Рис.2. График виброускорений основной площадки земляного полотна в зоне рельсового стыка при старых штатных прокладках-амортизаторах. а- (пассажирский поезд); б- (Афросияб);

Из приведенных графиков следует, что наибольшая энергия колебаний наблюдается при проходе пассажирского поезда по стыку. В этом случае наибольшие значения амплитуд характерны для диапазона частот от 50 до 150 Гц, а наибольшие пиковые значения наблюдаются на частотах 50-60 Гц, 90-110 Гц и 120-140 Гц. При этом, ненулевые амплитуды фиксируются в диапазоне частот до 600 Гц.

При проходе пассажирский поезд по зоне стыка общая энергия колебаний значительно ниже, пиковые значения амплитуд наблюдаются в диапазоне 40, 60, 90 и 110 Гц, и в целом график смещён в сторону низких частот. Ненулевые значения амплитуд фиксируются в диапазоне до 600 Гц, но в диапазоне 400-600 Гц их значения пренебрежимо малы.

При движении высокоскоростного поезда «Афросияб» по стыку, общая энергия колебаний сопоставима с энергией, реализуемой при проходе пассажирский поезд. На графике АЧХ выявляются 3 основных группы пиковых значений амплитуд, которые приурочены к частотам 40 Гц, 60 Гц, 80 Гц. Таким образом, АЧХ смещается в сторону низких частот в большей степени, чем при движении «Ласточки».



Ненулевые значения амплитуд фиксируются в диапазоне до 600 Гц, но в диапазоне 400-600 Гц их значения пренебрежимо малы.

Резонансная частота колебаний обнаружена при частотах в диапазоне 50-60 Гц.

Полученные результаты связаны с тем, что ходовая часть пассажирского поезда вызывает колебания в широком диапазоне частот, связанные в первую очередь с силовым воздействием подвижного состава (низкие и средние частоты) и колебанием неподрессоренных частей масс ходовых частей (высокие частоты). Колебания, вызываемые проходом «Афросияб», лежат преимущественно в среднем диапазоне частот в силу повышенного динамического воздействия, обусловленного высокой скоростью движения, и более совершенной конструкции ходовой части, снижающей высокочастотную составляющую колебаний.

Снижение вибродинамического воздействия на балластный слой в диапазонах резонансных частот позволит увеличить запас несущей способности и срок службы балласта, снизит напряжения на основной площадке земляного полотна [10-13]. Эти эффекты позволят улучшить эксплуатационные свойства железнодорожного пути в целом.

4. Заключение

Исследование вертикальных виброускорений балласта в зоне рельсового стыка при различном количестве стандартных прокладок-амортизаторов РР-8623 (штатных) и прокладок-амортизаторов повышенной упругости (опытных) позволяют сделать следующие выводы:

1. Основные (несущие) частоты, на которых фиксируются максимальные амплитуды виброускорений, определяются величиной силового воздействия, которая в свою очередь зависит от конструктивных особенностей подвижного состава (расстояния между тележками) и скорости его движения.

2. Резонансная частота железнодорожного пути находится в диапазоне 50-60 Гц.

3. Применение опытных прокладок-амортизаторов позволяет снизить и перераспределить энергию колебаний, передающихся на балластный слой, за счет сдвиги резонансной частоты. Снижение вибродинамического воздействия на балластный слой позволит увеличить запас несущей способности и срок службы балласта, снизит напряжения на основной площадке земляного полотна. Эти эффекты позволят улучшить эксплуатационные свойства железнодорожного пути в целом.

Использованная литература / References

[1] Kolos, A., Romanov, A., Govorov, V., Konon, A. Railway subgrade stressed state under the impact of new-generation cars with 270 kN axle load. (2020) Lecture Notes in Civil Engineering, 49, pp. 343-351.

[2] Petriaev, A. Modeling of a railway roadbed reinforcement. (2020) Lecture Notes in Civil Engineering, 50, pp. 27-35.

[3] В.О.Певзнер, М.М.Железнов, В.Н.Каплин, А.В.Третьяков, М.Н.Мысловец, А.С.Томиленко.

Повышение стабильности пути в зоне стыков за счёт применения упругих подшпальных прокладок. Вестник ВНИИЖТ, 2016г. № 3.

[4] Kaewunruen, S., Remennikov, A.M. An Alternative Rail Pad Tester for Measuring Dynamic Properties of Rail Pads Under Large Preloads. Exp Mech 48, 55-64 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11340-007-9059-3>.

[5] Sol-Sánchez, M. & Moreno-Navarro, Fernando & Gámez, Ma. (2015). The use of elastic elements in railway tracks: A state of the art review. Construction and Building Materials. 75. 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.027.

[6] Remennikov, Alex & Kaewunruen, Sakdirat & Ikaunieks, K.. (2020). Deterioration of dynamic rail pad characteristics. Faculty of Engineering - Papers.

[7] Sol-Sánchez, M. & Moreno-Navarro, Fernando & Gámez, Ma. (2014). The use of deconstructed tire rail pads in railroad tracks: Impact of pad thickness. Materials & Design. 58. 198-203. 10.1016/j.matdes.2014.01.062.

[8] Carrascal, Isidro & Núñez, Alejandro & Casado, José & Diego, Soraya & Polanco, Juan & MARTÍN, JUAN. (2018). Development of metal rubber pads for high speed railways. 487-498. 10.2495/CR180431.

[9] Sol-Sánchez, M. & Moreno-Navarro, Fernando & Gámez, Ma. (2014). Viability analysis of deconstructed tires as material for rail pads in high-speed railways. Materials and Design. 64. 407-414. 10.1016/j.matdes.2014.07.071.

[10] Butorina, M., Minina, N., Ivanov, P., Petryaev, A. Reduction of Vibroacoustic Effect of High-speed Trains (2017) Procedia Engineering, 189, pp. 352-359.

[11] Serebryakov, D., Konon, A., Zaitsev, E. The Study of Subgrade Operating Conditions at Bridge Abutment Approach (2017) Procedia Engineering, 189, pp. 893-897.

[12] Petriaev, A. Stress Response Analyses of Ballasted Rail Tracks, Reinforced by Geosynthetics (2017) Procedia Engineering, 189, pp. 660-665.

[13] Boronenko, Yu.P., Rahimov, R.V., Lafta, W.M., Dmitriev, S.V., Belyankin, A.V., Sergeev, D.A. Continuous monitoring of the wheel-rail contact vertical forces by using a variable measurement scale (2020) 2020 Joint Rail Conference, JRC 2020.

Информация об авторах / Information about the authors

Лесов Кувандик Сагинович / Kuvandik Lesov	Ташкентский государственный транспортный университет к.т.н., профессор Email: kuvandikl@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-9434-0713
---	--

Ибадуллаев Ахмаджон Собирович / Akhmadjon Ibadullaev	Ташкентский государственный транспортный университет д.т.н., профессор E-mail: ibadullayev1957@bk.ru https://orcid.org/0000-0002-8089-2592
--	---

Самандаров Хушнудбек Одилбекович / Khushnudbek Samandarov	Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: xushnudbek6600@mail.ru https://orcid.org/0009-0001-1147-0281
---	--



I. Maturazov, A. Turdimurodov, S. Otaboev

Analysis of remote real-time monitoring of the technical condition of aircraft engines based on IoT systems.....5

I. Maturazov, A. Turdimurodov, S. Otaboev

Prediction of technical failures in aircraft based on artificial intelligence.....10

A. Kiyomov

Problems of formation of basic professional competence among students of technical higher educational institutions.....15

M. Rasulmuhamedov, Z. Mirzaeva, A. Matkarimov, M. Mehmonov

Numerical calculation of the bending of an elastic beam using the finite difference method.....18

E. Shchipacheva, R. Pirmatov, Li Jia Jun, R. Khasanov, S. Sadikov, O. Sodikov

An innovative surface coating for transportation infrastructure....22

G. Isakova, I. Sadikov, R. Kadirbergenov

The effect of adhesion properties on asphalt concrete pavement....26

M. Masharipov, E. Asatov, R. Bozorov

Analysis of international experience in organizing train operations on complex mountainous railway sections.....30

M. Sultonboeva

The Role and impact of ESG factors in the development of the banking and financial system.....34

O. Turdiev, M. Murtozaeva

Development of an information system for rapid communication with emergency services.....38

M. Murtozaeva

Development of an information system for real-time communication with emergency services: Mathematical modeling and practical results 42

A. Gulomova

Evaluation of the energy efficiency of passive cooling methods for attic spaces in hot climate regions.....47

Z. Adilova, S. Setimbetova

International transport corridors and Uzbekistan's integration into the global logistics system method.....50

N. Tursunov, A. Saidirakhimov, N. Kodirova, Z. Rakhmatova

Investigation of the mechanism and factors influencing the process of dephosphorization during the smelting of 20GL steel.....54

G. Khalmatjanova

Methods of designing cotton and textile clusters in the agro-industrial complex.....58

A. Rakhmanov, E. Abdusamatov, Sh. Shermatov, U. Isokhanov

Analysis of methods for formalizing road traffic accidents.....63

A. Lesov, S. Yuldasheva

Analysis of the application of renewable energy sources in metro systems.....68

Z. Adilova, M. Sharapova

Analytical foundations of container transportation management.....73

Kh. Nekboev, M. Suvonkulova

Application of information systems in the management of transport logistics processes.....79

N. Sarvirova, D. Tajibaev, D. Khakimov

Formalized selection of sites for the ancient Khorezm branded tourist route in Karakalpakstan.....83

Sh. Khakimov, D. Odilov, U. Isokhanov

The role of digitalization in increasing the efficiency of truck utilization 88

N. Arifjanova

Implementation of internet of things (IoT) technologies for warehouse logistics optimization: Domestic and foreign experience.....92

D. Ayrapetov, R. Khakimov

Restoration of the thermophysical properties of antifreezes via a regeneration method based on regression analysis.....95

Kh. Alimov, A. Martazaev, F. Azizova, M. Umarov	
<i>Dynamic analysis of three-layer pendulum-type fluoroplastic seismic insulated buildings.....</i>	99
O. Chulponov, A. Bakhodirov	
<i>Hydraulic structures, hydraulic shock, aerated flow, internal volume, lower slope aerated flow in the Rezaksay reservoir</i>	103
R. Saydakhmedov, J. Berdimurodov	
<i>A mathematical model for determining the optimal parameters of coating application technology.....</i>	108
A. Murodov, Z. Atadjanova	
<i>An integral model for assessing the technical efficiency of a regional transport and logistics system: a case study of Khorezm region.....</i>	114
U. Khusenov, A. Bakoev, M. Bakhtiyorov	
<i>Assessment of the impact of non-stop train crossing on the line capacity of single-track railway sections.....</i>	118
E. Ametova, J. Kudratov	
<i>Optimization of the response time of microprocessor-based protection devices in phase-sensitive railway track circuits.....</i>	126
N. Tokhirov, M. Akhmedova	
<i>Steps to improve the processes for issuing speed limit warnings.....</i>	131
N. Tokhirov	
<i>Development of a mathematical model for assessing data quality based on a Bayesian network to justify the effectiveness of modern technologies in issuing alerts.....</i>	136
N. Ganieva, D. Pak	
<i>Structural analysis of information relationships and classification of gas supply problems</i>	142
S. Sulaymonov, N. Erdonova	
<i>Analysis of hazardous (injury-causing and harmful) production factors in the technological processes of ceramic tile manufacturing.....</i>	147
B. Abdullaev, A. Kholmatov	
<i>Classification of factors affecting the tires of road transport vehicles operated under the conditions of JSC "Almalyk MC"</i>	153

M. Miralimov, Sh. Akhmedov, B. Mukhitdinov, A. Menglibaev	
<i>Effective technologies for protecting bridge cones using gabion structures.....</i>	<i>160</i>
A. Antonov, V. Struk, M. Rakhmatov, A. Riskulov, Kh. Nurmetov	
<i>Modelling of thermophysical characteristics and analysis of interfacial interaction in nanocomposites based on polymer matrices.....</i>	<i>164</i>
M. Sobirov	
<i>Heating of car brake discs and measures to eliminate it.....</i>	<i>169</i>
R. Dadaboev, T. Olimov	
<i>Theoretical foundations of the mass customization concept in the automotive industry.....</i>	<i>174</i>
A. Yusufov, Sh. Abdurasulov, A. Vohidov, J. Ulugov, A. Mahmudjanov	
<i>Evaluation of the operational reliability of metro car bogie frames based on finite element method and optimization models</i>	<i>178</i>
A. Yusufov, Sh. Abdurasulov, A. Vohidov, J. Ulugov, A. Mahmudjanov	
<i>Assessment of the residual life of shunting locomotive frame structures based on complex diagnostics and finite element method</i>	<i>183</i>
D. Shodmonov	
<i>Integration of case-based reasoning and the k-nearest neighbours algorithm for classification tasks in intelligent decision support systems.....</i>	<i>188</i>
E. Kamalova, A. Kholmatov	
<i>Scientific interpretation of the essence, classification, and evaluation indicators of logistics efficiency.....</i>	<i>192</i>
E. Kamalova, A. Kholmatov	
<i>The role and specific features of logistics efficiency in the transport system within the national economy.....</i>	<i>198</i>

M. Miralimov, K. Juraev, Kh. Urazov	
<i>Analysis of the state of bridges exploited in the Republic of Uzbekistan</i>	203
S. Norkulov	
<i>The importance of foreign experience in the development of the metro transport system and recommendations for Uzbekistan.....</i>	207
Sh. Anarova, N. Khujakulov	
<i>Fractal geometry and patterns modeling methods</i>	210
N. Khujakulov	
<i>Computer modeling of geometric patterns based on fractal models.....</i>	215
M. Malikov	
<i>A theoretical basis for the influence of road pavement texture on traffic safety and skid resistance</i>	221
N. Abdullaev	
<i>Analysis of modern calculation methods for locomotive traction of trains based on the experience of developed countries.....</i>	225
S. Razzakov, Sh. Nuriddinova	
<i>Theoretical basis for the calculation of basalt fiber dispersed reinforced structures.....</i>	230
R. Hakimov	
<i>Development of the transport sector within the framework of the Uzbekistan–2030 strategy: Achieved results and new objectives</i>	234
N. Tursunov, Sh. Nazarov	
<i>Study of the influence of moisture on the strength characteristics of sand-clay molding mixture.....</i>	237
R. Hakimov	
<i>Development of Uzbekistan’s railway passenger transport system: reform outcomes and factors influencing efficiency.....</i>	241
M. Abasov	
<i>Production of pyrolysis distillate – synthetic fuel from waste tires.....</i>	244

Z. Ergasheva*Simulation model of railway terminal operation.....248***M. Ubaydullaev, E. Ruklinskaya, U. Kosimov,****N. Yodgorov, N. Khavasova***Secondary use of worn BelAZ tires for lining mining dump truck bodies to prevent adhesion of rock mass.....253***M. Ubaydullaev, E. Ruklinskaya, U. Kosimov,****N. Yodgorov, N. Khavasova***Improving the wear resistance of internal surfaces of slurry pumps in the flotation 257***N. Tursunov, N. Kodirova, Z. Rakhmatova,****M. Abdulazizov***Investigation of the mechanism and factors influencing the process of dephosphorization during the smelting of 20GL steel.....262***K. Lesov, A. Ibadullaev, Kh. Samandarov***Increasing the stability of the track through the use of elastic undercarriage gaskets.....266***K. Lesov, A. Ibadullaev, Kh. Samandarov***The oscillatory process of the under-rail base for under-rail gaskets with different elasticity 270*