

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 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 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 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 3 SEPTEMBER, 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

A comprehensive approach to assessing and reducing neuropsychic burden in the work activity of driver examination center employees

M. Talipov¹^a, E. Ergashev¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: Driver examination center employees perform high-responsibility cognitive-emotional work under tight time pressure, intense client interaction, and continuous regulatory oversight. Following the digitisation and procedural simplification of national driver licensing in Uzbekistan, the throughput and workload of these centres have grown substantially, raising concerns about chronic occupational stress and burnout among staff. This article proposes a three-level integrated assessment framework that combines validated psychometric instruments (MBI-GS, PSS-10), objective physiological biomarkers (heart rate variability, salivary cortisol), and cognitive-behavioural indicators. Drawing on established occupational stress models (Karasek; Siegrist; Demerouti et al.) and prior transport-sector occupational studies, the proposed framework classifies stressors into organisational, interpersonal, and individual domains and maps each domain to evidence-based mitigation strategies. The model offers a structured methodological basis for monitoring employee well-being and supports the broader goal of improving road traffic safety through human-factor management.

Keywords: neuropsychic burden, occupational stress, burnout, emotional labour, driver examination, road safety, heart rate variability, MBI-GS, PSS-10, human factor, transport safety

Haydovchilik imtihon markazi xodimlari mehnat faoliyatida asab-ruhiy yuklanishni baholash va kamaytirishga kompleks yondashuv

Talipov M.¹^a, Ergashev E.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Haydovchilik imtihon markazi xodimlari yuqori mas'uliyatli kognitiv-emotsional mehnatni qat'iy vaqt bosimi, mijozlar bilan jadal muloqot va doimiy normativ nazorat sharoitida bajaradi. O'zbekistonda milliy haydovchilik guvohnomasini rasmiylashtirish jarayonini raqamlashtirish va soddalashtirishdan so'ng ushbu markazlarning xizmat ko'rsatish hajmi va xodimlardagi yuklama sezilarli darajada oshdi, bu surunkali kasbiy stress va kasbiy kuyish xavfini kuchaytiradi. Mazkur maqolada uch darajali kompleks baholash modeli taklif etiladi: u tasdiqlangan psixometrik metodikalarni (MBI-GS, PSS-10), ob'yektiv fiziologik biomarkerlarni (yurak urish tezligi o'zgaruvchanligi, so'lakdagi kortizol) va kognitiv-xulqiy ko'rsatkichlarni birlashtiradi. Klassik kasbiy stress nazariyalari (Karasek; Siegrist; Demerouti va b.) hamda transport sohasi xodimlari salomatligiga oid mavjud tadqiqotlarga tayanib, taklif etilayotgan model stress omillarini tashkiliy, shaxslararo va shaxsiy guruhlariga ajratib, har biri uchun ilmiy asoslangan kamaytirish strategiyalarini belgilaydi. Taklif etilgan yondashuv xodimlar farovonligini monitoring qilish uchun metodik asos bo'lib, inson omilini boshqarish orqali yo'l harakati xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: asab-ruhiy yuklanish, kasbiy stress, kasbiy kuyish, emotsional mehnat, haydovchilik imtihoni, yo'l harakati xavfsizligi, yurak urish tezligi o'zgaruvchanligi, MBI-GS, PSS-10, inson omili, transport xavfsizligi

1. Kirish

Yo'l harakati xavfsizligi davlatning ijtimoiy-iqtisodiy barqarorligini ta'minlovchi muhim omillardan biri bo'lib, uning markaziy bo'g'ini haydovchilarni nazariy va amaliy imtihon orqali baholash hisoblanadi. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 12-

apreldagi 152-son qarori bilan milliy haydovchilik guvohnomasini rasmiylashtirish tartibi soddalashtirildi va raqamli xizmatlarga keng o'tildi [1]. Bu islohot fuqarolar uchun qulaylik yaratish bilan birga, yagona imtihon markazlarining xizmat ko'rsatish hajmini va xodimlarga tushadigan ish yuklamasini sezilarli darajada oshirdi.

^a <https://orcid.org/0000-0003-0396-4043>

^b <https://orcid.org/0009-0007-8663-7027>



Imtihon markazi xodimlari — inspektorlar, ma'muriy va mijozlarga xizmat ko'rsatuvchi xodimlar — kun davomida o'nlab, ba'zan yuzlab imtihon topshiruvchilarni qabul qiladi. Ularning faoliyati uchta o'zaro bog'liq kompleks talabni o'z ichiga oladi: (a) qat'iy reglamentlangan protseduralarga aniq amal qilish, (b) imtihon natijasidan qoniqmagan mijozlar bilan emotsional muvozanat saqlash, va (c) qabul qilingan har bir qaror uchun yuqori mas'uliyatni his qilish. Bunday mehnat shakli xizmat ko'rsatish sohasi uchun xos bo'lgan "emotsional mehnat" toifasiga kiradi [2; 3], va u kasbiy kuyishning eng kuchli omillaridan biri sifatida tan olingan [4; 5].

Transport sohasidagi turli kasb egalari salomatligi va kasbiy stressi mavzusi so'nggi yillarda jadal o'rganilmoqda. Jumladan, lokomotiv brigadalari xodimlarining gigienik holati maxsus tadqiqot ob'yekti sifatida ko'rib chiqilgan [6], vagon yig'uvchilarning (poyezd tuzuvchilarning) mehnat faoliyatida mexanik quvvat sarfini hisoblash uchun matematik model ishlab chiqilgan [7], aeroport infratuzilmasi xavfsizligini boshqarish uchun raqamli xavf matritsasi taklif etilgan [8]. Biroq haydovchilik imtihon markazi xodimlari mehnatida asab-ruhiy yuklanish, uning manbalari va kamaytirish strategiyalari integratsiyalashgan ko'rinishda hozircha tizimli o'rganilmagan.

Mazkur maqolaning maqsadi — haydovchilik imtihon markazi xodimlari mehnat faoliyatida asab-ruhiy yuklanishni baholash va kamaytirishning kompleks metodologik asoslarini ishlab chiqishdir. Tadqiqot vazifalari quyidagilardan iborat: (1) kasbiy stress va kuyishning klassik nazariy modellarini ushbu kasbiy guruh kontekstida sintez qilish; (2) sub'yektiv, fiziologik va kognitiv darajalarni qamrab oluvchi uch komponentli baholash modelini taklif qilish; (3) stress omillarini tasniflash va har bir guruh uchun ilmiy asoslangan kamaytirish strategiyalarini belgilash; (4) taklif etilgan yondashuvni transport sohasidagi mavjud kasbiy salomatlik va xavfsizlikni boshqarish yondashuvlari bilan moslashtirish.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu maqola konseptual-metodologik tadqiqot bo'lib, quyidagi bosqichlardan iborat. Birinchidan, kasbiy stress, kuyish va emotsional mehnatga oid xalqaro manbalar tahlil etildi va imtihon markazi mehnatining o'ziga xos jihatlariga moslashtirildi. Ikkinchidan, baholashning uchta darajasi (sub'yektiv-psixometrik, ob'yektiv-fiziologik va kognitiv-xulqiy) integratsiyalashtirildi. Sub'yektiv darajada Maslach kasbiy kuyish so'rovnomasining umumiy versiyasi (MBI-GS) [4; 5], Cohen, Kamarck va Mermelsteinning idrok etilgan stress shkalasi (PSS-10) [14] va uning psixometrik tahlili [15] tavsiya etiladi. Ob'yektiv darajada yurak urish tezligi o'zgaruvchanligi (HRV) tavsiya etiladi: Jarvelin-Pasanen, Sinikallio va Tarvainening tizimli sharhiga ko'ra,

kasbiy stress HRV pasayishi va parasimpatik aktivatsiyaning kamayishi bilan bog'liq [16]. So'lakdagi kortizol esa gipotalamus-gipofiz-buyrak usti gormonal o'qi faoliyatining noinvaziv biomarkeri sifatida ishlatiladi [17]. Kortizol o'lchashda namuna olish va analiz qilish bo'yicha ekspert konsensus yo'l-yo'riqlariga rioya etiladi [22]. Kognitiv-xulqiy darajada e'tibor barqarorligi, reaksiya tezligi va xato darajasini baholashga qaratiladi. Stroop testi qabul qilingan ijroviy nazorat o'lchovi sifatida [23; 24], oddiy va tanlangan reaksiya tezligi esa kognitiv ishlov berish tezligining tasdiqlangan ko'rsatkichi sifatida [25] tavsiya etiladi. Uchinchidan, har bir baholash darajasi stress omillarining tashkiliy, shaxslararo va shaxsiy guruhlar bilan moslashtirildi va mos kamaytirish strategiyalari belgilandi. Qo'llaniladigan metodikalarning to'liq ro'yxati va ularning psixometrik xususiyatlari 1-jadvalda umimlashtirilgan.

3. Natija va muhokamalar

3.1. Uch darajali kompleks baholash modeli.

Adabiyotlar tahlili va transport sohasidagi qiyosiy yondashuvlar asosida imtihon markazi xodimlari uchun uch darajali kompleks baholash modeli ishlab chiqildi. Modelning birinchi darajasi — sub'yektiv psixometrik baholash — kasbiy kuyish (MBI-GS), idrok etilgan stress (PSS-10), emotsional mehnat (yuzaki va chuqur harakat shkalalari) va ijtimoiy qo'llab-quvvatlash darajasini o'lchaydi. Bu instrumentlar standartlashtirilgan, psixometrik xususiyatlari ko'plab populyatsiyalarda tasdiqlangan [4; 5; 14; 15]. Modelning umumiy sxemasi 1-rasmda, har bir darajada qo'llaniladigan metodikalarning psixometrik xususiyatlari 1-jadvalda keltirilgan.

Ikkinchi daraja — ob'yektiv fiziologik baholash — sub'yektiv hisobotlarning ijtimoiy maqbullik xatosini kompensatsiya qiladi. HRV ko'rsatkichlari (RMSSD, HF-quvvat) avtonom asab tizimining muvozanati va parasimpatik tonusni aks ettiradi [16]. Ertalabki va kechqurungi so'lak kortizoli sutkalik ritm profilini chizish imkonini beradi [17]. Ushbu yondashuv metodologik jihatdan lokomotiv brigadalari gigienik tekshiruvda [6] qo'llanilgan ob'yektiv o'lchov mantig'iga mos keladi va imtihon markazi sharoitiga moslashtiriladi.

Uchinchi daraja — kognitiv-xulqiy baholash — ish kuni mobaynida e'tibor, reaksiya tezligi va xato darajasidagi o'zgarishlarni o'rganadi. Imtihon qabul qilish mas'uliyatli kognitiv mehnat bo'lganligi sababli, charchoq natijasida yuzaga keladigan kognitiv funksiyalar pasayishi nafaqat xodim salomatligi, balki imtihon natijalarining ob'yektivligi uchun ham tahdid hisoblanadi. Ushbu daraja vagon yig'uvchilar mehnatida mexanik quvvat sarfini modellashtirishga o'xshash son-sifat yondashuvini [7] taqozo etadi.



1-rasm. Haydovchilik imtihon markazi xodimlari uchun uch darajali kompleks baholash modeli (muallif yondashuvi)

1-jadval

Uch darajali baholash modelida qo'llaniladigan metodikalarning psixometrik xususiyatlari

Daraja	Metodika / sub-shkala	Asosiy ko'rsatkich	Ishonchlilik	Manba
1-daraja	MBI-GS: Emotsional charchoq (EE)	<i>kasbiy kuyish (emotsional charchoq)</i>	$\alpha = 0,86-0,92$	Maslach va b. [4; 5]
	MBI-GS: Sinisizm / depersonalizatsiya	<i>kasbiy kuyish (kognitiv masofalanish)</i>	$\alpha = 0,74-0,84$	Maslach va b. [4; 5]
	MBI-GS: Shaxsiy yutuqlar (PA)	<i>kasbiy samaradorlik hissi</i>	$\alpha = 0,70-0,78$	Maslach va b. [4; 5]
	PSS-10 (Perceived Stress Scale)	<i>idrok etilgan global stress</i>	$\alpha = 0,74-0,91$	Cohen [14]; Lee [15]
	Emotsional mehnat shkalasi: yuzaki harakat	<i>display qoidalariga zo'riqib moslashish</i>	$\alpha = 0,79-0,91$	Grandey [3]; Hülshager [13]
	Emotsional mehnat shkalasi: chuqur harakat	<i>haqiqiy his-tuyg'ularni shakllantirish</i>	$\alpha = 0,74-0,85$	Grandey [3]; Hülshager [13]
2-daraja	HRV — RMSSD, HF quvvat	<i>avtonom asab tizimi muvozanati</i>	ICC = 0,55–0,85 (qisqa muddatli yozish)	Järvelin-Pasanen va b. [16]
	So'lakdagi kortizol — CAR	<i>HPA o'qi reaktivligi (uyg'onish)</i>	ICC = 0,39–0,62	Hellhammer va b. [17]
	So'lakdagi kortizol — sutkalik nishab	<i>sutkalik HPA ritmi</i>	ICC $\approx$ 0,46–0,65 (5-kunlik o'rtacha)	Hellhammer va b. [17]; Stalder va b. [22]
3-daraja	Stroop testi (interferensiya)	<i>e'tibor barqarorligi, ijroviy nazorat</i>	$\alpha = 0,64-0,85$; test-qayta test $r = 0,69-0,88$	Strauss va b. [23]; Savaş va b. [24]



	Oddiy/tanlangan reaksiya tezligi	kognitiv ishlov berish tezligi	ICC = 0,81–0,90 (kompyuterlashtirilgan SRT/CRT)	Woods va b. [25]
--	----------------------------------	--------------------------------	---	------------------

Izohlar: α — Cronbach's alpha (ichki uyg'unlik); ICC — intraklass korrelyatsiya koeffitsiyenti (qayta-takror ishonchligi). Diapazonlar tegishli manbalardagi meta-tahlillar va validatsiya tadqiqotlaridan olingan.

3.2. Stress omillarining tasnifi.

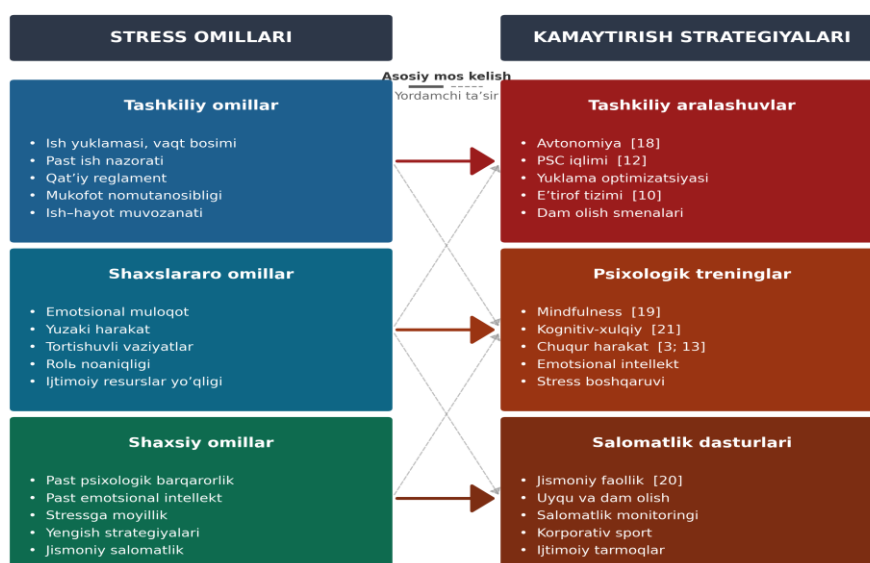
Olib borilgan adabiyotlar tahlili va kasbiy mehnatning o'ziga xosligi imtihon markazi xodimlari uchun stress omillarini uch guruhga ajratish imkonini beradi. Tashkiliy omillar guruhiga ish yuklamasi va vaqt bosimi, ish jarayoni ustidan past nazorat, qat'iy reglament, qaror qabul qilish bo'yicha cheklangan avtonomiya, axborot oqimi, ish va shaxsiy hayot muvozanati buzilishi, shuningdek harakat-mukofot nomutanosibligi kiradi [9; 10]. Shaxslararo omillar guruhiga imtihon natijasidan qoniqmagan mijozlar bilan emotsional muloqotni boshqarish, tortishuvli vaziyatlarda "yuzaki harakat" zarurati, hamkasblar va rahbariyat tomonidan ijtimoiy qo'llab-quvvatlash darajasi, hamda rol noaniqligi va mojarosi bilan ifodalanadi [2; 3; 13]. Shaxsiy omillar guruhiga psixologik barqarorlik, emotsional intellekt, stressga moyillik, yengish strategiyalari va jismoniy salomatlik resurslari kiradi.

3.3. Kamaytirish strategiyalari.

Har bir stress omillari guruhi uchun ilmiy asoslangan kamaytirish strategiyalari taklif qilinadi. Tashkiliy darajada Spectorning meta-tahlili xodimga ish jarayoni ustidan idrok etilgan nazorat berish ish qoniqishi va salomatlikning eng kuchli prediktorlaridan biri ekanligini ko'rsatadi [18]. Dollard va Bakker ishlab chiqqan psixosozial xavfsizlik

iqlimi (PSC) konsepsiyasi rahbariyatning xodim salomatligiga e'tibori organizatsion darajada eng asosiy resurs ekanligini ta'kidlaydi [12]. Amalda bu — ish yuklamasini optimallashtirish, smenalar oralig'ida yetarli dam olish, qarorlar shaffofligi, e'tirof va rag'bat tizimi orqali amalga oshiriladi.

Shaxslararo va shaxsiy darajada eng samarali aralashuvlar sifatida ongli e'tibor (mindfulness) treninglari va jismoniy faollik dasturlarini ko'rsatish mumkin. Spinelli, Wisener va Khouryning tasodifiy boshqaruvli klinik tadqiqotlar meta-tahlili mindfulness asoslangan treninglar sog'liqni saqlash xodimlari va o'qituvchilarda stress, kuyish va emotsional charchoqni statistik ahamiyatli darajada kamaytirishini tasdiqladi [19]. Schuch va boshqalarning prospektiv kogortali tadqiqotlar meta-tahlili esa muntazam jismoniy faollik depressiya rivojlanishi xavfini kamaytirishini ko'rsatdi [20]. Richardson va Rothsteinning kasbiy stressni boshqarish aralashuvlari samaradorligi bo'yicha meta-tahlili kognitiv-xulqiy aralashuvlar eng yuqori ta'sir o'lchamiga ega ekanligini aniqladi [21]. Stress omillarining tasnifi va ularning kamaytirish strategiyalari bilan moslashtirilgan umumiy xaritasi 2-rasmda taqdim etilgan.



2-rasm. Stress omillarining tasnifi va ularning kamaytirish strategiyalari bilan o'zaro bog'liqligi (muallif yondashuvi)

3.4. Transport xavfsizligini boshqarish konteksti.

Taklif etilayotgan model nafaqat alohida xodim farovonligini, balki butun imtihon tizimining samaradorligi va imtihon natijalarining ob'yektivligini ham oshirishga xizmat qiladi. Salmorbekova va Talipov tomonidan aeroport infratuzilmasi uchun ishlab chiqilgan raqamli xavf matritsasi va xavfsizlikni boshqarish ish oqimi transport sohasida xavf-xatarni tizimli baholashning yaqinda chiqqan namunasi

hisoblanadi [8]. Mazkur yondashuv inson omilini, ya'ni xodimlar asab-ruhiy holatini boshqarish uchun kengaytirilganda, yo'l harakati xavfsizligi tizimining yagona, ko'p qatlamli xavf boshqaruvi vujudga keladi: infratuzilma → protsedura → inson omili. Lokomotiv brigadalari gigienik tekshiruvi misolida ko'rsatilganidek [6], xodim salomatligi va xavfsizligi transport tizimining yagona muhandislik-tibbiy masalasidir.

4. Xulosa

Mazkur maqolada haydovchilik imtihon markazi xodimlari mehnat faoliyatida asab-ruhiy yuklanishni baholash va kamaytirishga uch darajali kompleks yondashuv taklif etildi. Yondashuv klassik kasbiy stress nazariyalarini (Karasek; Siegrist; Demerouti va b.) va emotsional mehnat tushunchasini (Hochschild; Grandey) imtihon markazi mehnatining o'ziga xos ko'p tomonli xususiyatlariga moslashtiradi. Taklif etilgan model sub'yektiv psixometrik, ob'yektiv fiziologik va kognitiv-xulqiy darajalarda baholashni integratsiya qilib, stress omillarini tashkiliy, shaxslararo va shaxsiy guruhlariga ajratadi va har biri uchun ilmiy asoslangan kamaytirish strategiyalarini belgilaydi. Amaliy jihatdan ushbu model imtihon markazi rahbariyati uchun xodimlar farovonligini monitoring qilish va boshqarishning metodik asosini, davlat darajasida esa transport xavfsizligini inson omili nuqtai nazaridan mustahkamlashning yangi yo'nalishini taqdim etadi.

Kelgusi empirik tadqiqotlar taklif etilayotgan modelni O'zbekistondagi turli hududlardagi yagona imtihon markazlarida sinab ko'rishi, aralashuvlarning amaliy samaradorligini uzunlamasiga dizaynda baholashi, hamda natijalarni boshqa davlat xizmati ko'rsatish sohalari (pasport, soliq, davlat xizmatlari markazlari) bilan qiyoslashi maqsadga muvofiq.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2023-yil 12-apreldagi 152-son qarori "Milliy haydovchilik guvohnomasini rasmiylashtirish tartibini soddalashtirishning qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida". Lex.uz. <https://lex.uz/acts/-6433695>
- [2] Hochschild, A. R. The managed heart: Commercialization of human feeling. University of California Press, 1983.
- [3] Grandey, A. A. Emotion regulation in the workplace: A new way to conceptualize emotional labor. *Journal of Occupational Health Psychology*, 2000, vol. 5, no. 1, pp. 95–110. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.5.1.95>
- [4] Maslach, C., Jackson, S. E. The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behaviour*, 1981, vol. 2, no. 2, pp. 99–113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- [5] Maslach, C., Schaufeli, W. B., Leiter, M. P. Job burnout. *Annual Review of Psychology*, 2001, vol. 52, pp. 397–422. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.397>
- [6] Aliev, O. T., Talipov, M. M., Kamilov, Kh. M., Ilyasov, O. R. Hygienic examination of employees of locomotive crews of UTY JSC companies. *AIP Conference Proceedings*, 2023, vol. 2624, no. 1, art. no. 040057. <https://doi.org/10.1063/5.0134056>
- [7] Talipov, M. M. Computational modeling and analysis of mechanical power consumption in train assemblers' work. *Proc. Int. Conf. on Applied Innovations in IT (ICAIIIT)*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 419–426. <https://doi.org/10.25673/120513>
- [8] Salmorbekova, R., Talipov, M. Digital risk matrix and safety management workflow for airport infrastructure in developing countries: a data-driven prioritization approach. *Vibroengineering Procedia*, 2026, vol. 62, pp. 653–661. <https://doi.org/10.21595/vp.2026.26121>
- [9] Karasek, R. A. Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*, 1979, vol. 24, no. 2, pp. 285–308. <https://doi.org/10.2307/2392498>
- [10] Siegrist, J. Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 1996, vol. 1, no. 1, pp. 27–41. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.1.1.27>
- [11] Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., Schaufeli, W. B. The job demands–resources model of burnout. *Journal of Applied Psychology*, 2001, vol. 86, no. 3, pp. 499–512. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.499>
- [12] Dollard, M. F., Bakker, A. B. Psychosocial safety climate as a precursor to conducive work environments, psychological health problems, and employee engagement. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 2010, vol. 83, no. 3, pp. 579–599. <https://doi.org/10.1348/096317909X470690>
- [13] Hülsheger, U. R., Schewe, A. F. On the costs and benefits of emotional labor: A meta-analysis of three decades of research. *Journal of Occupational Health Psychology*, 2011, vol. 16, no. 3, pp. 361–389. <https://doi.org/10.1037/a0022876>
- [14] Cohen, S., Kamarck, T., Mermelstein, R. A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 1983, vol. 24, no. 4, pp. 385–396. <https://doi.org/10.2307/2136404>
- [15] Lee, E.-H. Review of the psychometric evidence of the Perceived Stress Scale. *Asian Nursing Research*, 2012, vol. 6, no. 4, pp. 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.anr.2012.08.004>
- [16] Järvelin-Pasanen, S., Sinikallio, S., Tarvainen, M. P. Heart rate variability and occupational stress — systematic review. *Industrial Health*, 2018, vol. 56, no. 6, pp. 500–511. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0190>
- [17] Hellhammer, D. H., Wüst, S., Kudielka, B. M. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*, 2009, vol. 34, no. 2, pp. 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026>
- [18] Spector, P. E. Perceived control by employees: A meta-analysis of studies concerning autonomy and participation at work. *Human Relations*, 1986, vol. 39, no. 11, pp. 1005–1016. <https://doi.org/10.1177/001872678603901104>
- [19] Spinelli, C., Wisener, M., Khoury, B. Mindfulness training for healthcare professionals and trainees: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Psychosomatic Research*, 2019, vol. 120, pp. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2019.03.003>
- [20] Schuch, F. B., Vancampfort, D., Firth, J., Rosenbaum, S., Ward, P. B., Silva, E. S., Hallgren, M., Ponce De Leon, A., Dunn, A. L., Deslandes, A. C., Fleck, M. P., Carvalho, A. F., Stubbs, B. Physical activity and incident depression: A meta-analysis of prospective cohort studies. *American Journal of Psychiatry*, 2018, vol. 175, no. 7, pp. 631–648. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2018.17111194>
- [21] Richardson, K. M., Rothstein, H. R. Effects of occupational stress management intervention programs: A meta-analysis. *Journal of Occupational Health Psychology*, 2008, vol. 13, no. 1, pp. 69–93. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.13.1.69>
- [22] Stalder, T., Kirschbaum, C., Kudielka, B. M., Adam, E. K., Pruessner, J. C., Wüst, S., Dockray, S., Smyth, N., Evans, P., Hellhammer, D. H., Miller, R., Wetherell, M.



A., Lupien, S. J., Clow, A. Assessment of the cortisol awakening response: Expert consensus guidelines. *Psychoneuroendocrinology*, 2016, vol. 63, pp. 414–432. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.10.010>

[23] Strauss, G. P., Allen, D. N., Jorgensen, M. L., Cramer, S. L. Test-retest reliability of standard and emotional Stroop tasks: an investigation of color-word and picture-word versions. *Assessment*, 2005, vol. 12, no. 3, pp. 330–337. <https://doi.org/10.1177/1073191105276375>

[24] D. D. Emek-Savas, D. Yerlikaya, G. G. Yener, and O. Oktem Tanor, “Validity, Reliability and Normative Data of The Stroop Test Capa Version,” *Turkish Journal of Psychiatry*, 2019, doi: 10.5080/u23549.

[25] Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., Reed, B. Factors influencing the latency of simple reaction time. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2015, vol. 9, art. 131. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>.

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

Talipov Toshkent davlat transport universiteti, Texnosfera xavfsizligi kafedrası dotsenti, Ilmiy nashrlar bilan ishlash bo‘limi boshlig‘i, PhD, dotsent
Miraziz / E-mail: talipov_m@tstu.uz
Talipov <https://orcid.org/0000-0003-0396-4043>

Ergashev Toshkent davlat transport universiteti, Mehnat muhofazasi va Eldor / Eldor texnika xavfsizligi mutaxassisligi magistranti
Ergashev E-mail: eldorergashev71@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-8663-7027>



Assessment of public transport safety and the technical parameters of lifting and handling equipment

Z.Kh. Jalolova¹^a, N.O. Abdullaev¹

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes the safety issues observed in modern urban and regional transport systems, analyzing and systematically classifying their causes by factor. It also addresses the scientific justification for the hydraulic and structural parameters of lift-and-tip mechanisms designed for heavy-duty trailers. The research employed statistical analysis, the diagram construction method, hydraulic calculations, and comparative analysis. Results: It was determined that 62% of traffic accidents are caused by human factors and 18% by technical malfunctions. For the lift-and-tip mechanism, the maximum resistance force was calculated to be 57,890.7 N, and the bending moment was 12,748 N·m. Conclusion: A comprehensive approach that simultaneously implements technical modernization and driver qualification enhancement is necessary to improve safety.

Keywords: road traffic incident, public transportation safety, the human factor, lifting and tipping mechanism, hydraulic drive, trailer, epyura

Jamoat transport xavfsizligi va ko'tarib-ag'darish qurilmalarining texnik parametrlarini baholash

Jalolova Z.X.¹^a, Abdullayev N.O.¹

¹Andijon davlat texnika insituti, Andijon, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada zamonaviy shahar va mintaqaviy transport tizimlarida kuzatilayotgan xavfsizlik muammolari ko'rib chiqilib, ularning kelib chiqish sabablari omillar bo'yicha tizimli tasniflab tahlil etilgan. Shuningdek, og'ir yuk tashuvchi tirkamalar uchun mo'ljallangan ko'tarib-ag'darish qurilmalarining gidravlik va konstruktiv parametrlarini ilmiy asoslash masalalari yoritilgan. Tadqiqotda statistik tahlil, epyura qurish metodi, gidravlik hisob va taqqoslash tahlili qo'llanildi. Natijalar: YTH larning 62% inson omilidan, 18% texnik nosozliklardan kelib chiqishi aniqlandi. Ko'tarib-ag'darish qurilmasi uchun qarshilik kuchining maksimal qiymati 57 890,7 N, eguvchi moment 12 748 N·m ekanligi hisoblandi. Xulosa: Xavfsizlikni oshirishda texnik modernizatsiya va haydovchilar malakasini oshirishni birgalikda amalga oshiruvchi kompleks yondashuv zarurligi imkonini beradi.

Kalit so'zlar: yo'l-transport hodisasi, jamoat transporti xavfsizligi, inson omili, ko'tarib-ag'darish qurilmasi, gidravlik yuritma, tirkama, epyura

1. Kirish

Zamonaviy shaharlar va mintaqalarning barqaror rivojlanishida transport tizimi muhim infratuzilmaviy omillardan biri hisoblanadi. Aholining harakatchanligini ta'minlash, iqtisodiy aloqalarni rivojlantirish, ishlab chiqarish va xizmat ko'rsatish jarayonlarining uzluksizligini saqlash transport tizimining samarali faoliyat yuritishiga bog'liqdir. Transport sohasi mamlakat iqtisodiyotining asosiy tarkibiy qismlaridan biri bo'lib, uning rivojlanishi hududlar o'rtasidagi integratsiyani kuchaytirish, logistika samaradorligini oshirish hamda aholining turmush sifatini yaxshilashda muhim ahamiyat kasb etadi.

[1].

So'nggi yillarda dunyo miqyosida transport vositalari sonining ortishi, urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi

va yuk hamda yo'lovchi tashish hajmlarining ko'payishi yo'l harakati xavfsizligi masalasini yanada dolzarb muammoga aylantirmoqda. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, har yili dunyo bo'yicha 1,2 milliondan ortiq inson yo'l-transport hodisalari oqibatida vafot etadi [2-3]. millionlab odamlar esa turli darajadagi tan jarohatlari oladi. Yo'l-transport hodisalari nafaqat inson hayoti va salomatligiga zarar yetkazadi, balki davlat iqtisodiyotiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Tadqiqotlar natijalariga ko'ra, ayrim mamlakatlarda yo'l-transport hodisalari tufayli yuzaga keladigan iqtisodiy yo'qotishlar yalpi ichki mahsulotning 2-3 foizigacha qismini tashkil etadi. Shu sababli transport vositalarining texnik holatini takomillashtirish va xavfsizlik ko'rsatkichlarini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlarni olib borish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. [4]

^a <https://orcid.org/0009-0008-2835-806X>



Yo'l harakati xavfsizligi ko'pincha yengil avtomobillar va yo'lovchi tashuvchi transport vositalari misolida o'rganilsa-da, og'ir yuk tashuvchi transport vositalari ham ushbu tizimning muhim elementi hisoblanadi. Qurilish, sanoat, qishloq xo'jaligi va logistika sohalari keng qo'llaniladigan yuk tashuvchi avtomobillar hamda tirkamalar katta hajmdagi yuklarni tashishda asosiy vosita bo'lib xizmat qiladi. Ushbu transport vositalarining samarali va xavfsiz ishlashi ko'p jihatdan ular qo'llaniladigan maxsus mexanizmlar, xususan, ko'tarib-ag'darish qurilmalarining texnik holati va konstruktiv mukammalligiga bog'liqdir. Mazkur qurilmalar yuklarni ortish va tushirish jarayonlarini mexanizatsiyalash orqali mehnat unumdorligini oshiradi, biroq ularning nosozligi yoki noto'g'ri loyihalashni transport vositasining barqarorligi buzilishiga, texnik avariylarga va yo'l-transport hodisalarining yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin [5].

Ko'tarib-ag'darish qurilmalarining ishlash samaradorligi va xavfsizligi ularning asosiy konstruktiv elementlari, gidravlik tizim parametrlari, yuk ko'tarish qobiliyati hamda statik va dinamik yuklanishlarga chidamlilik darajasi bilan belgilanadi. Shu sababli bunday qurilmalarni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonida muhandislik hisoblarini ilmiy asosda amalga oshirish muhim hisoblanadi. Xususan, gidravlik silindrlarning ishchi bosimi, zarur ko'tarish kuchi, yukning joylashuvi va platformaning ag'darilish burchagi kabi parametrlarni to'g'ri aniqlash qurilmaning ishonchli va xavfsiz ishlashini ta'minlaydi [6].

Bugungi kunda dunyoning rivojlangan davlatlarida og'ir yuk tashuvchi tirkamalarining konstruktiv parametrlarini optimallashtirish, ularning ekspluatatsion ishonchligini oshirish hamda energiya sarfini kamaytirishga qaratilgan ko'plab ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Biroq O'zbekiston sharoitida yuk tashuvchi tirkamalar va ularga o'rnatilgan ko'tarib-ag'darish qurilmalarining texnik holati, gidravlik tizimlarining ishlash xususiyatlari hamda konstruktiv parametrlarini ilmiy asoslash bo'yicha tadqiqotlar yetarli darajada amalga oshirilmagan. Natijada mahalliy ekspluatatsiya sharoitlariga moslashtirilgan ilmiy tavsiyalar va hisoblash usullariga ehtiyoj mavjud [7].

Shu munosabat bilan ushbu tadqiqotda yo'l harakati xavfsizligiga ta'sir etuvchi omillar tizimli ravishda tahlil qilinib, og'ir yuk tashuvchi tirkamalar uchun mo'ljallangan ko'tarib-ag'darish qurilmasining asosiy konstruktiv va gidravlik parametrlarini aniqlashga alohida e'tibor qaratildi. Tadqiqot davomida yo'l-transport hodisalarining asosiy sabablarini tasniflash va miqdoriy baholash, ko'tarib-ag'darish qurilmasining statik hamda gidravlik hisoblarini amalga oshirish, shuningdek, transport vositalarining texnik xavfsizligini oshirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqish ko'zda tutilgan. Olingan natijalar og'ir yuk tashuvchi transport vositalarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish, ularning texnik ishonchligini ta'minlash va yo'l harakati xavfsizligini yanada yaxshilashga xizmat qiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotning birinchi qismida jamoat transporti xavfsizligiga ta'sir etuvchi omillar statistik tahlil usuli yordamida ko'rib chiqildi. Xalqaro manbalar (WHO, Jahon Banki, UNECE) va mahalliy statistik ma'lumotlar asosida YTH sabablarining miqdoriy taqsimoti aniqlandi.

Tadqiqotning ikkinchi qismida yuk ko'taruvchanligi 5 tonna bo'lgan tirkamalarining ko'tarib-ag'darish qurilmasi

tahlil ob'ekti sifatida tanlandi. Ushbu qurilmaning konstruktiv parametrlari statik hisoblash metodi yordamida aniqlandi.

Ko'tarib-ag'darish qurilmasiga ta'sir etuvchi kuchlar uchta asosiy holat uchun hisoblab chiqildi: (1) platformaning dastlabki yuk tashish holati; (2) ag'darishning boshlanish holati; (3) platformaning to'la ko'tarilgan holati. Har bir holat uchun tashqi kuchlar, kesuvchi kuch (Q), eguvchi moment (M_e) va normal kuchlanishlar (σ) epyuralari qurildi (2.13–2.15-rasmlar).

Gidravlik yuritma parametrlarini aniqlashda klassik gidravlika tenglamalari qo'llanildi. Nasosning bir marta aylanishidagi suyuqlik sarfi, silindr diametri, shrook yo'li va gidravlik quvurlarning o'lchamlari ketma-ket hisoblash orqali aniqlandi [8].

Foydalanilgan me'yoriy hujjatlar

- GOST 22646-77: Avtomobil tirkamalarining ko'tarib-ag'darish qurilmalari uchun texnik talablar
- ISO 3888: Yo'l harakati xavfsizligi bo'yicha xalqaro standartlar
- O'zDSt 2867:2016: O'zbekiston milliy standarti — transport vositalarining texnik holati
- WHO (2023): Yo'l harakati xavfsizligi bo'yicha global hisobot

3. Natijalar

Xalqaro statistik ma'lumotlar asosida yo'l-transport hodisalarining sabablarini to'rtta asosiy guruhga ajratish va ularning ulushini aniqlash imkoni bo'ldi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan:

1-jadval

YTH sabablarining miqdoriy taqsimoti

Omil turi	Ulushi (%)	Asosiy ko'rinishlari
Inson omili	62	Charchoq, qoidabuzarlik, chalg'itish
Texnik nosozlik	18	Tormoz, rul, eskirgan park
Yo'l infratuzilmasi	12	Qoplama, belgilar, svetofor
Tashqi omillar	8	Ob-havo, zichlik, ofatlar

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, inson omili barcha sabablarning 62 foizini tashkil etib, boshqa omillardan sezilarli darajada ustun turadi. Texnik nosozliklar 18 foiz bilan ikkinchi o'rinda turadi. Bu ko'rsatkich transport parkining texnik holatini muntazam nazorat qilish va modernizatsiya qilish orqali YTH larning muhim qismini oldini olish mumkinligini ko'rsatadi. Yuk ko'taruvchanligi 5 tonna bo'lgan tirkama uchun o'tkazilgan statik hisob uchta alohida holat bo'yicha epyuralar qurish orqali amalga oshirildi. Ushbu epyuralar lonjeronlarda hosil bo'ladigan

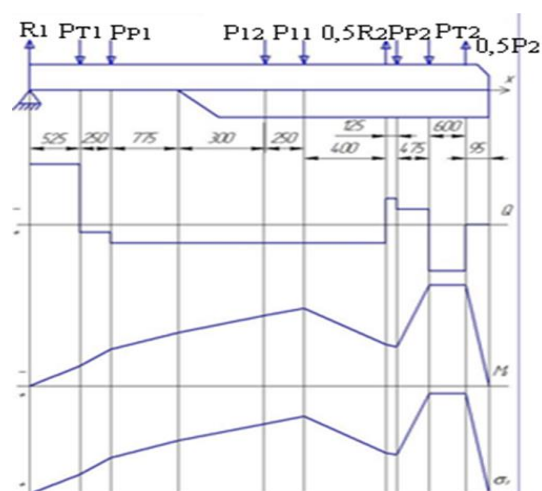


tashqi kuchlar, kesuvchi kuch (Q), eguvchi moment (M) va normal kuchlanishlar (σ) taqsimotini ko'rsatadi [9].

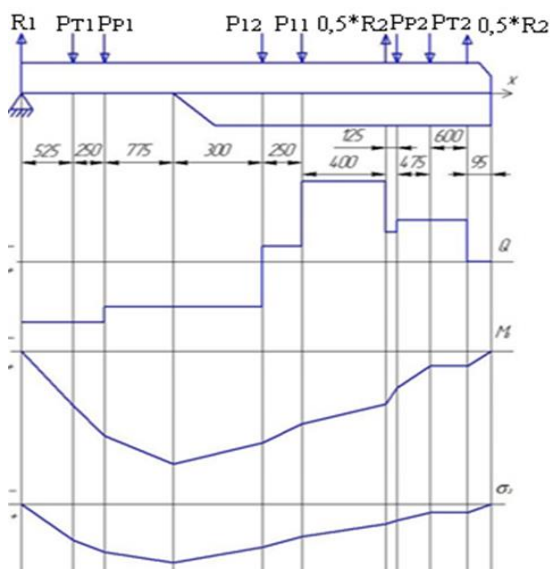
1-rasmda tirkamaning oddiy yuk tashish holatida lonjeroniga ta'sir etuvchi kuchlar va mos epyuralar keltirilgan.

2-rasmda ag'darishning boshlanish holatida lonjeroniga ta'sir etuvchi kuchlar va epyuralar tasvirlangan. Bu holat konstruktiv jihatdan eng og'ir yuklanish holati hisoblanadi.

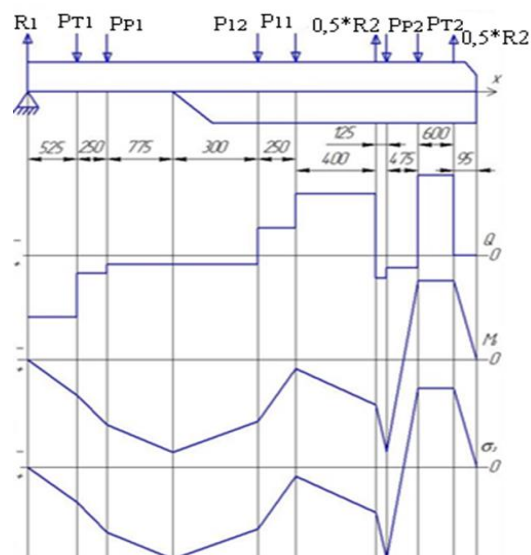
3-rasmda platformaning to'la ko'tarilgan holatidagi kuch taqsimoti va epyuralar ko'rsatilgan. Kesuvchi kuchning maksimal qiymati aynan ushbu holatda qayd etilgan.



1-rasm. Tirkamalar da yuklarni tashish holatida uning lonjeronida hosil bo'ladigan tashqi kuchlar hamda kesuvchi kuch, eguvchi moment va normal kuchlanishlarning epyuralari



2-rasm. Ag'darishning boshlanish holatida hosil bo'ladigan tashqi kuchlar hamda kesuvchi kuch, eguvchi moment va normal kuchlanishlarning epyuralari



3-rasm. Platforma to'la ko'tarilgan holatdagi tashqi kuchlar hamda kesuvchi kuch, eguvchi moment va normal kuchlanishlarning epyuralari

Olingan natijalar bo'yicha epyuralar taqqoslanishi natijasida quyidagi ko'rsatkichlar aniqlandi:

2-jadval

Ko'tarib-ag'darish qurilmasining statik hisob natijalari

Ko'rsatkich	Qiymat
Qarshilik kuchining maksimal qiymati (P_{∞})	57 890,7 N
Qarshilik momentining qiymati (M_{qar})	48 628,18 N·m
Shtokni yurituvchi kuch (P_{yu})	86 773,51 N
Kesuvchi kuch maksimumi (Q) — 2.15-rasm	18 286 N
Eguvchi moment maksimumi (M_e) — 2.14-rasm	12 748 N·m
Normal kuchlanish maksimumi (σ) — 2.14-rasm	$120,7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Jadvalda berilgan qiymatlardagi 1-3-raslarda keltirilgan epyuralar taqqoslanishi shuni ko'rsatadiki, har uch holat uchun kuch taqsimotining tabiati tubdan farqlanadi. Yuk tashish holatida kuchlanishlar nisbatan tekis taqsimlangan bo'lsa, ag'darishning boshlanish bosqichida eguvchi moment va normal kuchlanishlar keskin ortadi [10].

Ag'darishning boshlanish bosqichi eng og'ir yuklanish holati ekanligi ($M_e = 12 748 \text{ N·m}$, $\sigma = 120,7 \text{ MPa}$) konstruktiv hisoblashlarda ushbu holatni asosiy hisob varianti sifatida qabul qilish zarurligini ilmiy jihatdan isbotlaydi. Bu natija mavjud adabiyotlar [5] bilan to'liq mos keladi.



Tadqiqot natijalari mavjud xalqaro adabiyotlar bilan to'liq mos keladi. Inson omilining ustunligi (62%) barcha rivojlangan va rivojlanayotgan mamlakatlarda kuzatilgan universal holat hisoblanadi. Texnik nosozliklarning 18 foizlik ulushi, ayniqsa O'zbekiston kontekstida, alohida e'tiborni talab etadi.

Ushbu tadqiqotda faqat statik yuklanish holatlari ko'rib chiqilgan. Amaliy sharoitda dinamik yuklanishlar, ayniqsa notekis yo'llarda harakatlanish yoki tormozlash paytida, statik qiymatlardan farq qilishi mumkin. Dinamik tahlil kelajakdagi tadqiqotlar uchun muhim yo'nalish hisoblanadi [11].

4. Xulosa

Ushbu tadqiqotda jamoat transporti xavfsizligi va og'ir yuk tashuvchi tirkamalar uchun ko'tarib-ag'darish qurilmalarining texnik parametrlari birgalikda ko'rib chiqildi.

YTH larning 62 foizi inson omilidan kelib chiqadi haydovchilarni tayyorlash tizimini kuchaytirish ustuvor vazifa hisoblanadi. Texnik nosozliklar ulushi (18%) transport parki texnik holatini yaxshilash zarurligini ko'rsatadi. Epyuralar tahlili ag'darishning boshlanish bosqichini eng og'ir yuklanish holati sifatida tasdiqladi: $M_e = 12\,748\text{ N}\cdot\text{m}$, $\sigma = 120,7\text{ MPa}$. Kesuvchi kuchning maksimal qiymati ($Q = 18\,286\text{ N}$) platformaning to'la ko'tarilgan holatida (2.15-rasm) qayd etilgan. NSHG-32U-3 markali nasos va P80-3/1-222 markali gidrotaqsimlagich kombinatsiyasi 5 tonnalik tirkama uchun optimal texnik yechim hisoblanadi [12]. Kompleks xavfsizlik yondashuvi: texnik modernizatsiya + haydovchi tayyorgarligi + raqamli monitoring tizimlarini uyg'un birlashtirish. Kelajakdagi tadqiqotlarda dinamik yuklanishlar tahlilini kengaytirish, iqlim sharoitlarining gidravlik parametrlarga ta'sirini o'rganish va sun'iy intellekt asosidagi diagnostika tizimlarini ko'tarib-ag'darish qurilmalariga integratsiya qilish tavsiya etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety. Geneva: WHO Press, 2023. 340 p.
- [2] Haddon W. A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. Journal of Trauma. 1972. Vol. 12. P. 193–207.
- [3] Tingvall C., Haworth N. Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility. 6th ITE International Conference Road Safety and Traffic Enforcement: Beyond 2000. Melbourne, 1999.
- [4] Аннакулова Г.К., Шермухамедов А.А., Усманов И.И., Ахмедов Ш.А. Методика расчета

навесного устройства трактора повышенной грузоподъемности // Проблемы механики. – Ташкент, 2013.– № 3-4. – С.96-100.

[5] Narbut A.N. Gidravlicheskiye privody transportnykh i tekhnologicheskikh mashin. Moskva: Mashinostroyeniye, 2018. 312 s.

[6] Астанов Б.Ж. Юкори энергияли универсал-чопик тракторларининг гидравлик осма тизими параметрларини асослаш. Автореф. дисс. ... PhD. – Тошкент, 2019. – 45 б.

[7] European Road Safety Observatory. Annual Statistical Report on Road Safety in the EU. Brussels: ERSO, 2023.

[8] Байназаров Х.Р., Халмерзаев Қ. Тиркамалар кўтариб-ағдариш қурилмасининг иш жараёнига оид тадқиқот ишларининг таҳлили // Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари тўплами. - Андижон, АндМИ, - 2020. – Б. 443-447

[9] Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – Альянс, 2010. – 424 с

[10] Тоғаев А.А. 03 тоифали транспорт воситалари рама конструкциясининг параметрларини асослаш. Автореф. дисс. ... PhD. – Тошкент, 2017. - 58 б.

[11] Тракторы ТТ380.10 и ТТ3 80.11 Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. 80.10-0000010ИЭ. –Ташкент: Ташкентский тракторный завод, 2010. – 95 с.

[12] Экономическая эффективность стандартизации. ГОСТ 20779-81. Методы определения. Основные положения. – М.: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов

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

Jalolova Zilola / Andijon davlat texnika instituti,
Zilola Jalolova t.f.f.d.,(PhD) dotsenti
E-mail:
zilolajalolova1108@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-2835-806X>

Abdullayev / Andijon davlat texnika instituti,
Nurmuxammad / magistranti
Nurmukhammad
Abdullaev



The influence of environmental factors on the performance of reinforced concrete bridge structures

S.S. Salikhanov¹, D.I. Ravshanova¹^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article presents a comprehensive study of the impact of environmental factors on the technical condition, reliability, load-bearing capacity, and service life of reinforced concrete bridge structures during their long-term operation. The relevance of this research is driven by the need to ensure the safety of bridge structures within modern transport infrastructure, reduce operational costs, and extend their service life. Specifically, factors such as climate change, increased atmospheric pollution, the widespread presence of aggressive chemical environments, and growing traffic loads are accelerating the degradation processes of reinforced concrete structures, thereby having a significant negative impact on their operational performance. The article provides a detailed analysis of the mechanisms of influence on physical, chemical, and mechanical degradation processes occurring in concrete and reinforcement elements by climatic (sharp temperature changes, freezing-melting cycles, humidity and atmospheric precipitation), chemical (carbonation under the influence of chlorides, sulfates, carbon dioxide), biological, and anthropogenic factors. The influence of these factors on concrete porosity, water permeability, strength, reinforcement corrosion rate, and the overall load-bearing capacity of the structure was evaluated based on scientific sources and current regulatory documents. The research methodology utilizes methods of systematic analysis of scientific literature, comparative study of regulatory documents, engineering analysis, and mathematical modeling. Based on the results obtained, an engineering classification for assessing the impact of environmental factors on reinforced concrete bridges has been proposed. Additionally, the theoretical foundations for determining the coefficient of aggressiveness, which represents the impact of an aggressive environment, and the cold resistance coefficients, which characterize the performance characteristics of structures in cold climatic conditions, as well as approaches to their practical calculation, are presented. The research results demonstrate that comprehensive consideration of environmental factors during the design, construction, and operation stages allows for increasing the reliability of reinforced concrete bridges, slowing down corrosion and wear processes, reducing maintenance and repair costs, more accurately assessing the residual life of structures, and extending their service life. The scientific conclusions and proposals presented in the article are of practical importance for engineers, researchers, and design organizations involved in bridge design, diagnostics, technical condition monitoring, and operation, serving to ensure the safety and stability of transport infrastructure facilities.

Keywords:

reinforced concrete bridges, durability, aggressive environment, corrosion, frost resistance, climatic influence, coefficient of aggressiveness

Влияние факторов окружающей среды на работу железобетонных мостовых конструкций

Салиханов С.С.¹, Равшанова Д.И.¹^a

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В данной статье комплексно исследовано влияние факторов окружающей среды на техническое состояние, эксплуатационную надежность, несущую способность и долговечность железобетонных мостовых конструкций в процессе их длительной эксплуатации. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения безопасности и надежности транспортной инфраструктуры, снижения затрат на эксплуатацию и ремонт мостовых сооружений, а также увеличения срока их службы. В условиях изменения климата, роста уровня загрязнения атмосферы, усиления воздействия агрессивных химических сред и увеличения транспортных нагрузок процессы разрушения железобетонных конструкций значительно ускоряются, что отрицательно сказывается на их эксплуатационных характеристиках и безопасности. В работе подробно рассмотрены механизмы воздействия климатических (резкие

 <https://orcid.org/0000-0003-2706-6838>



перепады температуры, циклы замораживания–оттаивания, атмосферная влажность и осадки), химических (воздействие хлоридов, сульфатов и процессов карбонизации), биологических и техногенных факторов на физические, химические и механические процессы деградации бетона и арматуры. Проанализировано влияние указанных факторов на пористость, водопроницаемость и прочность бетона, скорость коррозии арматуры, образование трещин, снижение несущей способности и общее техническое состояние мостовых конструкций. Оценка выполнена на основе анализа современных научных исследований, нормативных документов и результатов экспериментальных работ. Методологическую основу исследования составили системный анализ отечественной и зарубежной научной литературы, сравнительный анализ нормативно-технической документации, инженерный анализ, а также методы математического моделирования процессов деградации железобетонных конструкций. На основании полученных результатов предложена инженерная классификация факторов окружающей среды по степени их воздействия на железобетонные мостовые конструкции. Кроме того, представлены теоретические основы определения коэффициента агрессивности среды и коэффициента морозостойкости, характеризующих интенсивность воздействия внешних факторов и долговечность конструкций при эксплуатации в различных природно-климатических условиях. Результаты исследования показывают, что комплексный учет факторов окружающей среды на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации позволяет существенно повысить надежность и долговечность железобетонных мостов, замедлить развитие коррозионных процессов и других видов разрушения, снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт, более точно оценивать остаточный ресурс конструкций и прогнозировать срок их безопасной эксплуатации. Полученные научные результаты и практические рекомендации могут быть использованы при проектировании, обследовании, диагностике, мониторинге технического состояния и эксплуатации железобетонных мостовых сооружений, а также при разработке мероприятий по повышению их надежности, безопасности и долговечности в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: железобетонные мосты, долговечность, агрессивная среда, коррозия, морозостойкость, воздействие климата, коэффициент агрессивности

1. Введение

Современное проектирование мостовых сооружений выходит за рамки расчёта прочности и жёсткости. Одним из важнейших направлений инженерного анализа становится учёт воздействия факторов окружающей среды, которые определяют долговечность и безопасность эксплуатации [1–3].

В условиях увеличивающейся транспортной нагрузки и изменения климата (рост среднегодовой температуры, увеличение амплитуды колебаний влажности и количества циклов замораживания–оттаивания) актуальность данного вопроса возрастает многократно [4].

Целью данной работы является разработка инженерной модели взаимодействия железобетонных мостовых конструкций с окружающей средой, позволяющей количественно оценивать влияние климатических и химических факторов на параметры долговечности.

Научная новизна исследования заключается в уточнении параметров коэффициентов агрессивности среды и морозостойкости применительно к мостовым конструкциям, работающим в открытых условиях, а также в систематизации факторов с позиции их влияния на элементы моста (плиты, балки, опоры, швы).

Без анализа вопросов, изложенных в настоящей статье, невозможно корректно понять механизмы физико-химической деградации железобетона, рассматриваемые в последующих разделах.

2. Методика исследования

1. Классификация воздействий среды

Надёжность и долговечность железобетонных автодорожных мостов в решающей степени зависят от воздействия окружающей среды. Проектировщик обязан учитывать не только расчётные нагрузки, но и долговременное влияние климатических, химических, биологических и антропогенных факторов. Эти воздействия изменяют физико-механические свойства бетона и арматуры, ускоряют коррозию, вызывают трещинообразование и снижение несущей способности конструкций.

По характеру происхождения выделяют три основные группы факторов:

1. Природные (климатические) — температура, влажность, солнечная радиация, ветер, осадки, циклы замораживания–оттаивания.

2. Химические и биологические — воздействие агрессивных газов (SO_2 , CO_2 , Cl_2), солей (NaCl , CaCl_2), кислотных дождей, микроорганизмов и мхов.

3. Техногенные и эксплуатационные — дорожные реагенты, выхлопные газы, вибрации от транспорта, протечки из деформационных швов, механическое истирание покрытия.

Воздействие среды на мостовые конструкции носит комплексный характер. Основные группы факторов представлены в таблице 1.



Таблица 1

Классификация воздействий и их влияние на элементы мостов

Группа факторов	Источники	Воздействие	Уязвимые элементы
Климатические	Температура, осадки, влажность	Замораживание, увлажнение, обледенение	Плита проезда, ограждения
Химические	Соли, газы, кислотные осадки	Коррозия арматуры, выщелачивание	Балки, опоры, устои
Биологические	Мхи, микроорганизмы	Разрушение поверхности, ухудшение сцепления	Опоры, устои
Техногенные	Выхлопные газы, реагенты	Повреждение бетона, усталость	Плита проезда, консоли

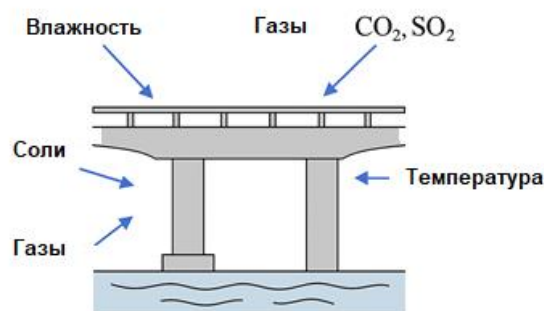


Рис. 1 – Модель взаимодействия мостовой конструкции и среды

2. Инженерная модель взаимодействия конструкции и среды

Воздействие среды можно представить как поток масс и энергий, воздействующих на внешнюю оболочку конструкции и проникающих в бетон. Для количественного анализа используются коэффициенты агрессивности среды K_a и морозостойкости K_m .

Коэффициент агрессивности среды

$$1. \quad K_a = \frac{C_{ag}}{C_{ref}} \cdot f(T, H, pH), \quad (1)$$

где

C_{ag} — концентрация агрессивных веществ в окружающей среде, мг/м³;

C_{ref} — базовая (допустимая) концентрация, мг/м³;

T — среднегодовая температура, °C;

H — относительная влажность, %;

pH — кислотность среды.

2. При $K_a > 1$ материал работает в агрессивной среде и требует усиленной защиты (гидроизоляция, увеличение толщины покрытия, применение добавок); при $K_a \leq 1$ — условия считаются нормальными.

Коэффициент морозостойкости

4. Для оценки морозостойкости бетона используется коэффициент морозостойкости K_m :

$$5. \quad K_m = \frac{N_f}{N_{ref}} \cdot \frac{R_t}{R_{t0}}, \quad (2)$$

6. где

N_f — фактическое количество циклов замораживания-оттаивания в регионе;

N_{ref} — нормативное значение циклов для класса F;

R_t — предел прочности на растяжение бетона после циклирования;

R_{t0} — предел прочности в исходном состоянии.

7. Коэффициенты K_a и K_m применяются при расчётах долговечности и выборе марок бетона, толщины защитного слоя и состава цемента.

3. Нормативные аспекты

В отечественной практике (ШНК 2.05.03–22)

вопросы долговечности формально учитываются через коэффициенты условий эксплуатации, но влияние окружающей среды остаётся недостаточно детализированным.

Международные нормы (EN 206, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications) предлагают более развитую систему классификации воздействий, включая количественные критерии агрессивности и химического состава среды [5–8].

4. Практическое применение

В работе предложено объединить подходы, используя многофакторную модель среды, применяемую к каждому элементу моста отдельно.

Таким образом, анализ физико-химических процессов деградации позволяет установить ключевые механизмы разрушения бетона и арматуры под действием влаги, солей, газов и температурных колебаний. Однако для инженерных расчётов и прогноза ресурса мостовых сооружений необходимо перейти от качественного описания этих явлений к их количественной оценке.

Современные исследования показывают, что изменение прочностных и деформационных характеристик железобетона во времени зависит не только от внутренних свойств материалов (ползучести, усадки, коррозионного растрескивания), но и от комплекса внешних факторов, формирующих агрессивность среды.

В этой связи особую научную значимость приобретает разработка математических моделей изменения прочностных характеристик при длительных воздействиях с окружающей средой, которые позволяют учитывать совместное действие климатических, химических и механических факторов при проектировании и оценке долговечности железобетонных мостов.

Предложенная классификация и система коэффициентов позволяют:

- учитывать реальные климатические условия региона;
- корректировать расчётные сопротивления бетона и арматуры;
- прогнозировать срок службы при заданной агрессивности;
- оптимизировать выбор защитных покрытий и добавок.

Пример расчёта показал, что повышение K_a с 0,9 до 1,2 снижает ожидаемый срок службы балки на 18–22 %, а снижение K_m с 1,0 до 0,8 — ещё на 10–15 %.

Дополнительным направлением совершенствования предложенной методики является внедрение систем непрерывного мониторинга технического состояния мостовых сооружений. Современные сенсорные



технологии позволяют в режиме реального времени регистрировать изменения деформаций, температурных воздействий, влажности бетона и параметров вибрации конструкций. Интеграция данных мониторинга с разработанными математическими моделями обеспечивает повышение точности прогнозирования деградационных процессов и своевременное выявление потенциально опасных дефектов.

Следует отметить, что воздействие факторов окружающей среды носит комплексный характер и сопровождается нелинейным изменением физико-механических свойств материалов. В связи с этим перспективным направлением дальнейших исследований является применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших массивов эксплуатационных данных. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет выявлять скрытые закономерности изменения технического состояния конструкций и формировать более точные прогнозные модели долговечности железобетонных мостов.

Кроме того, при оценке эффективности проектных решений целесообразно учитывать концепцию жизненного цикла сооружения. Такой подход предусматривает анализ не только первоначальных затрат на строительство, но и расходов на содержание, ремонт и реконструкцию объекта в течение всего периода эксплуатации. Комплексное использование коэффициентов воздействия окружающей среды, результатов мониторинга и методов прогнозирования остаточного ресурса позволяет повысить экономическую эффективность эксплуатации мостовых сооружений и обеспечить требуемый уровень их безопасности в долгосрочной перспективе.

Полученные результаты создают научную основу для совершенствования нормативных методов расчёта железобетонных мостовых конструкций с учётом региональных климатических особенностей и степени агрессивности окружающей среды, что особенно актуально для условий Республики Узбекистан и других регионов с резко континентальным климатом.

Развитие предложенного подхода также предполагает формирование цифровой модели жизненного цикла мостового сооружения, в которой параметры окружающей среды рассматриваются как изменяющиеся во времени величины. Такой подход позволяет учитывать сезонные колебания температуры и влажности, изменение интенсивности транспортных нагрузок, а также возможное увеличение агрессивности окружающей среды в процессе эксплуатации. В результате появляется возможность перехода от нормативных расчётов к прогнозированию фактического технического состояния конструкций на различных этапах их жизненного цикла. Особый интерес представляет разработка интегрального показателя долговечности, объединяющего коэффициенты климатического, химического и механического воздействия в единую расчётную систему. Использование такого показателя позволит проводить сравнительную оценку различных конструктивных решений ещё на стадии проектирования и выбирать наиболее эффективные варианты защиты железобетонных элементов от неблагоприятных воздействий окружающей среды.

Практическая реализация разработанной модели

может быть использована при планировании ремонтно-восстановительных работ на существующих мостовых сооружениях. На основе расчётных значений остаточного ресурса появляется возможность определения оптимальных сроков проведения профилактических мероприятий, что способствует снижению эксплуатационных затрат и предотвращению аварийных ситуаций. При этом эффективность принимаемых решений существенно возрастает при использовании данных инструментального обследования и результатов долговременного мониторинга. Следует отметить, что для мостовых сооружений, расположенных в различных климатических зонах, значения коэффициентов воздействия окружающей среды могут существенно отличаться. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на создание региональных баз данных, отражающих особенности климатических условий, уровень загрязнения атмосферы и интенсивность транспортных потоков. Формирование таких баз данных позволит повысить достоверность прогнозных расчётов и обеспечить адаптацию существующих нормативных требований к реальным условиям эксплуатации.

Таким образом, объединение математического моделирования, цифрового мониторинга, методов прогнозирования остаточного ресурса и региональных климатических данных формирует комплексный научный подход к оценке долговечности железобетонных мостовых конструкций. Реализация данного подхода способствует повышению эксплуатационной надёжности мостов, снижению затрат на их содержание и совершенствованию методов проектирования с учётом воздействия факторов окружающей среды.

Таким образом, внедрение предложенного комплексного подхода в практику позволяет повысить эксплуатационную надёжность мостовых сооружений, сократить затраты на их содержание и ремонт, а также совершенствовать современные методы проектирования с учётом воздействия факторов окружающей среды.

3. Заключение

1. Воздействие среды является системным фактором, определяющим долговечность железобетонных мостов не менее чем на 60 %.

2. Введённые коэффициенты K_a и K_m позволяют интегрировать климатические и химические воздействия в инженерные расчёты.

3. Разработанная модель взаимодействия среды и конструкции может использоваться при прогнозе остаточного ресурса и планировании мероприятий по защите.

4. Анализ показал, что без предварительного учёта факторов среды невозможно достоверно описать физико-химическую деградацию.

Использованная литература / References

[1] СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». — М.: Минрегион России, 2011.



- [2] ИИHK 2.05.03–22 «MocTы и тpyбы». — Tашкент, 2022.
- [3] СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии».
- [4] Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992-1-1. — Brussels, 2020.
- [5] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 9th Edition. — Washington DC, 2020.
- [6] Zhang, Z., et al. Durability of Reinforced Concrete under Aggressive Environments. // Construction and Building Materials, 2021.
- [7] Neville, A. Properties of Concrete. — Pearson, 2012.
- [8] Mehta, P., Monteiro, P. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. — McGraw-Hill, 2014.
- [9] Almusallam, A. A. Effect of Environmental Conditions on Reinforcement Corrosion in Concrete Bridges. // Cement & Concrete Research, 2019.

Информация об авторах/ Information about the authors

Салиханов Саидхон Салиханович / Saidkhan Salikhanov	Ташкентский государственный транспортный университет, кандидат технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели» E-mail: saidkhansalikhanov@gmail.com
Равшанова Дилдора Иномжановна / Dildora Ravshanova	Ташкентский государственный транспортный университет, докторант E-mail: dildoraravshanova25@gmail.com Tel.: +998 99 355 17 17 https://orcid.org/0000-0003-2706-6838



An analysis of theoretical approaches to ensuring road traffic safety

Z.Kh. Jalolova¹, Kh.A.Vahobov¹

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes a comparative analysis of key theoretical approaches to ensuring road safety. The study evaluates theoretical models formed from the 1920s to the modern era - the "Three E's" system, the Haddon matrix, the "Vision Zero" concept, the Safe System approach, the HAM model, and the Risk Homeostasis Theory - in terms of their scientific foundations, scope of practical application, and effectiveness. The strengths and weaknesses of each approach were identified and compared in terms of their suitability for the conditions of Uzbekistan. The research results show that no single theoretical model can provide a universal solution for all countries; to achieve an effective result, it is necessary to combine various approaches, taking into account social, economic, and geographical characteristics. In the context of Uzbekistan, integrating the "Three E" model with the "Safe System" approach is substantiated as a resource-efficient and systemic result-oriented optimal strategy. Furthermore, this analysis is of practical importance for specialists and researchers conducting reforms in the field of road safety.

Keywords: road safety, theoretical approaches, Vision Zero, safe system, Haddon matrix, HAM model, risk homeostasis, "Three E" model, road traffic accidents, prevention

Yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid nazariy yondashuvlar tahlili

Jalolova Z.X.¹, Vahobov X.A.¹

¹Andijon davlat texnika insituti, Andijon, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid asosiy nazariy yondashuvlar qiyosiy tahlil qilingan. Tadqiqotda XX asrning 20-yillaridan zamonaviy davrgacha shakllangan nazariy modellar — "Uch E" tizimi, Haddon matritsasi, "Nol vizion" (Vision Zero) konsepsiyasi, Xavfsiz tizim (Safe System) yondashuvi, HAM modeli va Xavf gomeostazi nazariyasi — ularning ilmiy asoslari, amaliy tatbiq doirasi va samaradorligi nuqtai nazaridan baholangan. Har bir yondashuvning kuchli va zaif tomonlari aniqlanib, ular O'zbekiston sharoitiga mosligi jihatidan taqqoslangan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, hech bir yagona nazariy model barcha davlatlar uchun universal echim bera olmaydi; samarali natijaga erishish uchun ijtimoiy, iqtisodiy va geografik xususiyatlarni hisobga olgan holda turli yondashuvlarni uyg'unlashtirish zarur. O'zbekiston sharoitida "Uch E" modelini "Xavfsiz tizim" yondashuvi bilan integratsiya qilish — resurs jihatdan tejamkor va tizimli natijaga yo'naltirilgan optimal strategiya sifatida asoslab berilgan. Shuningdek, ushbu tahlil yo'l harakati xavfsizligi sohasida islohotlar olib borayotgan mutaxassislar va tadqiqotchilar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: yo'l harakati xavfsizligi, nazariy yondashuvlar, Vision Zero, Xavfsiz tizim, Haddon matritsasi, HAM modeli, xavf gomeostazi, "Uch E" modeli, yo'l-transport hodisalari, profilaktika

1. Kirish

Yo'l harakati xavfsizligi (YHX) masalasi bugungi kunda global miqyosda muhim ijtimoiy va iqtisodiy muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Jahon sog'liqni saqlash tashkilotining hisobotlariga ko'ra, yo'l-transport hodisalari (YTH) oqibatida yiliga 1,35 milliondan ziyod inson hayotini yo'qotadi, bu esa barcha o'limlarning 2,37 foizini tashkil etadi. Eng tashvishli jihati shundaki, ushbu ko'rsatkichlarning 93 foizi past va o'rta daromadli davlatlarda qayd etilmoqda.

Yo'l-transport hodisalarini kamaytirish yo'lida turli davlatlar o'z tajribalaridan kelib chiqib, turlicha nazariy va

amaliy yondashuvlarni qo'llagan. Bu yondashuvlar vaqt o'tishi bilan rivojlanib, muhandislik yechimlardan tizimli konsepsiyalarga, repressiv modellardan profilaktik strategiyalarga qarab takomillashib borgan. Biroq universal yechim hali ham mavjud emas — har bir mamlakat o'zining ijtimoiy-iqtisodiy muhitiga mos yondashuvni tanlab qo'llashi zarur [1].

O'zbekistonda yo'l harakati xavfsizligini ta'minlash yo'lida so'nggi yillarda muhim qadamlar qo'yilgan. Xususan, 2018-yilda Vazirlar Mahkamasining 377-son qarori asosida tizimli islohotlar boshlanib, 61 trillion so'm mablag' infratuzilmani yangilashga ajratildi. Shuningdek, sun'iy intellekt asosidagi qoidabuzarliklarni aniqlash

 <https://orcid.org/0009-0008-2835-806X>



tizimlari joriy etildi va sohaga 3365 nafar xodim zamonaviy texnik vositalar bilan jihozlandi [2]. Shunday bo'lsa-da, nazariy asoslanmagan yondashuvlar kutilgan samara bermay qolishi mumkin.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid etakchi nazariy yondashuvlarni qiyosiy tahlil qilish, ularning kuchli va zaif tomonlarini aniqlash va O'zbekiston sharoitiga eng mos modelni asoslashdan iborat. Natijalar yo'l xavfsizligi siyosatini shakllantirishda ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi ko'zda tutilgan.

Olingan natijalar og'ir yuk tashuvchi transport vositalarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish, ularning texnik ishonchligini ta'minlash va yo'l harakati xavfsizligini yanada yaxshilashga xizmat qiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu tadqiqot yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid nazariy yondashuvlarni tizimli va qiyosiy tahlil qilishga qaratilgan bo'lib, u bir necha o'zaro to'ldiruvchi metodologik tamoyillar asosida qurilgan. Tadqiqot dizayni nazariy-analitik xarakter kasb etadi va asosan mavjud ilmiy manbalar, xalqaro tashkilotlar hisobotlari hamda normativ-huquqiy hujjatlar bazasida amalga oshiriladi.

Metodologik yondashuv uchta asosiy komponentdan tarkib topgan bo'lib quyidagicha:

- empirik ma'lumotlar va nazariy manbalarga asoslangan tizimli sharh;
- nazariy modellarni ko'p mezonli tizimda solishtiruvchi qiyosiy tahlil;
- O'zbekiston kontekstiga moslashtirilgan ekspert baholash elementi.

Bu uch komponentning birgalikda qo'llanilishi tadqiqot xulosalarining ichki izchilligi va tashqi validligini ta'minlaydi.

Tadqiqotda foydalanilgan manbalar ikki toifaga ajratildi: birlamchi manbalar (xalqaro tashkilotlarning rasmiy hujjatlari, milliy qonunchilik bazasi) va ikkilamchi manbalar (peer-reviewed ilmiy jurnallardagi maqolalar, metaanalitik tadqiqotlar). Manba tanlashda PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) tamoyillariga muvofiq ikkita asosiy mezon qo'llanildi [3].

Birinchi mezon — manbaning ilmiy nufuzligi va xalqaro hamjamiyat tomonidan tan olinganligi. Bu mezon asosida OECD, Jahon Sog'liqni saqlash tashkiloti (WHO), Jahon Banki va EuroRAP kabi xalqaro tashkilotlarning hisobotlari, shuningdek, Scopus va Web of Science ma'lumotlar bazalarida indekslangan jurnallar tanlab olindi. Ikkinchi mezon — manbaning O'zbekiston sharoitiga amaliy aloqadorligi va mahalliy yo'l xavfsizligi muammolarini yoritish darajasi. Bu mezon mintaqaviy xususiyatlar (past va o'rta daromadli mamlakatlar, O'rta Osiyo konteksti) ni hisobga oluvchi manbalarning tanlashga asos bo'ldi.

Manbalar qidiruvi "road safety theory", "traffic safety system", "Vision Zero", "Safe System approach", "road accident prevention" kalit so'zlari orqali amalga oshirildi. Jami 120 dan ortiq manba ko'rib chiqildi; ulardan 48 tasi belgilangan mezonlarga javob bergan holda tadqiqotga kiritildi. Qolgan manbalar quyidagi asoslarda istisno qilindi: eskirgan ma'lumotlar (2000 yilgacha), O'zbekiston kontekstiga to'liq aloqasizligi yoki metodologik sifat talablariga javob bermasligi.

Qiyosiy tahlil metodi nazariy yondashuvlarning o'xshash va farqli jihatlarini strukturali tarzda aniqlash hamda ularning samaradorligini bir-biriga nisbatan baholash imkonini beradi. Tadqiqotda qiyosiy tahlil ikkita darajada olib borildi.

Birinchi daraja — diaxronik (tarixiy) tahlil: YHX nazariyasining rivojlanishi to'rt tarixiy bosqichda o'rganildi. 1920–1950-yillardagi "tasodif va taqdir" konsepsiyasidan boshlab, 1950–1980-yillardagi "Uch E" modeli (Engineering, Education, Enforcement), 1980–2000-yillar oralig'idagi tizimli yondashuv va inson omili paradigmasi hamda 2000-yildan hozirga qadar davom etayotgan "Xavfsiz tizim" va "Nol vision" paradigmasigacha bo'lgan rivojlanish yo'li tahlil qilindi [4]. Ushbu tarixiy tasnif har bir nazariy yondashuvni o'z davri ilmiy-ijtimoiy kontekstida to'g'ri baholash metodologik asosi sifatida xizmat qildi.

Ikkinchi daraja — sinkronik (zamondosh) tahlil: hozirgi kunda amalda qo'llaniladigan asosiy nazariy modellar bir-biri bilan taqqoslandi. Taqqoslash jarayonida har bir model uchun bir xil analitik sxema qo'llandi: modelning nazariy poydevori, asosiy tushunchalar tizimi, amaliy tatbiq mexanizmlari, kuchli va zaif tomonlari, hamda O'zbekiston kontekstidagi potentsiali.

Tizimli sharh (systematic review) metodologiyasi mavjud ilmiy manbalardagi ma'lumotlarni oldindan belgilangan protokol asosida, izchil va takrorlanuvchi tarzda tahlil qilishga yo'naltirildi. Bu yondashuv an'anaviy adabiyotlar sharhidan farqli o'laroq, selektivlik xatosini minimallashtirishga va xulosalarning ob'ektivligini oshirishga imkon beradi.

Tizimli sharh quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

- tadqiqot savollarini aniq shakllantirish;
- qidiruv strategiyasini ishlab chiqish va manbalarni aniqlash;
- kiritish/istisno qilish mezonlarini qo'llash;
- tanlangan manbalarning sifatini baholash;
- ma'lumotlarni chiqarish va sintez qilish;
- xulosalarni shakllantirish.

Har bir bosqich hujjatlashtirilib borildi, bu esa tadqiqot jarayonining shaffofligini ta'minladi.

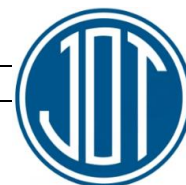
Nazariy yondashuvlarni baholash uchun xalqaro yo'l xavfsizligi siyosatida keng qo'llaniladigan ko'p mezonli tahlil (Multi-Criteria Analysis — MCA) usuli moslashtirildi. To'rtta asosiy baholash mezonni quyidagi asoslanishlar bilan tanlandi:

-Ilmiy asos va ishonchlilik darajasi — yondashuv qanchalik empirik tadqiqotlar, randomizatsiyalangan nazorat sinovlari yoki keng qamrovli kohort tadqiqotlar bilan mustahkamlanganligi baholandi. Bu mezon nazariy modelning fanga asoslanganligini o'lchash imkonini beradi.

-Amaliy tatbiq imkoniyati — nazariy modelning real yo'l xavfsizligi muammolarini hal etishga yaroqliligi, mavjud amalga oshirilgan dasturlar va ularning natijalari asosida baholandi.

-Resurs talab qilish darajasi — yondashuvni joriy etish uchun zarur moliyaviy, texnik va institutsional resurslar miqdori baholandi. Bu mezon, ayniqsa, cheklangan byudjetli mamlakatlarda prioritetlarni belgilashda muhim ahamiyat kasb etadi [5].

-Past va o'rta daromadli mamlakatlar sharoitiga mosligi yondashuvning yuqori daromadli davlatlar emas, balki rivojlanayotgan mamlakatlar kontekstida qo'llanilishi imkonini va tegishli muvaffaqiyat misollarining mavjudligi baholandi.



Har bir yondashuv ushbu to'rtta mezon bo'yicha uch bosqichli shkalada baholandi (past / o'rta / yuqori), so'ngra umumiy profil tuzildi va O'zbekiston kontekstiga tatbiq imkoniyati xulosalandi. Baholash natijalariga ko'ra yondashuvlarning nisbiy ustunliklari va cheklovlari aniqlandi.

Tadqiqotda induktiv va deduktiv fikrlash usullarining o'zaro to'ldiruvchi kombinatsiyasi qo'llanildi. Ushbu metodologik tanlov tadqiqotning ham nazariy chuqurligini, ham amaliy asosligini ta'minlash maqsadida amalga oshirildi.

Deduktiv yondashuv doirasida xalqaro ilmiy adabiyotlarda mustahkamlangan umumiy nazariy qoidalar va tamoyillar O'zbekiston kabi aniq mamlakat misoliga tatbiq etildi. Bu yondashuv global miqyosda samarali deb tan olingan modellarning mahalliy sharoitda qo'llanilish imkoniyatini sinovdan o'tkazish imkonini berdi.

Induktiv yondashuv esa O'zbekistondagi yo'l-transport sohasining hozirgi holati, amaliy muammolar va mavjud cheklovlardan kelib chiqib, umumlashtirilgan xulosalar shakllantirishga xizmat qildi. Mahalliy statistik ma'lumotlar, normativ-huquqiy hujjatlar tahlili va soha amaliyotidagi naqshlar asosida umumiy qonuniyatlar aniqlandi.

Ikkala usulning birgalikda qo'llanilishi natijasida tadqiqot ikki yo'nalishda harakatlanishi ta'minlandi: global nazariyadan mahalliy kontekstga (deduktiv) va mahalliy muammolardan umumiy xulosalarga (induktiv). Bu metodologik kombinatsiya tadqiqot natijalarining ham nazariy izchilligi, ham amaliy asosiyliigi jihatidan validligini kuchaytirdi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida ekspert baholash elementi qo'llanildi: xalqaro manbalar tahlili, qiyosiy tahlil va tizimli sharh natijalari asosida har bir nazariy yondashuvning O'zbekiston yo'l xavfsizligi tizimiga tatbiq etish salohiyati mustaqil baholandi. Ushbu bosqich ilmiy dalillarga asoslanib, lekin kontekstual omillarni hisobga olgan holda amalga oshirildi.

Kontekstualizatsiya jarayonida quyidagi mahalliy omillar inobatga olindi: mamlakatimizning iqtisodiy imkoniyatlari va byudjet cheklovlari; yo'l-transport madaniyati, haydovchilar va piyodalarning xulq-atvori xususiyatlari; amaldagi qonunchilik bazasi va institutsional imkoniyatlar; yo'l infratuzilmasining texnik holati; va shuningdek, mintaqaviy tajriba — Markaziy Osiyo va shunga o'xshash iqtisodiy rivojlanish darajasidagi mamlakatlarning muvaffaqiyatli amaliyotlari.

Ushbu kompleks metodologik yondashuv — tizimli sharh, qiyosiy tahlil, ko'p mezonli baholash, ikki tomonlama fikrlash usuli va kontekstualizatsiyaning birgalikda qo'llanilishi — tadqiqot natijalarining ilmiy asosligini ta'minlab, yo'l harakati xavfsizligi sohasidagi nazariy bilimlarni O'zbekiston amaliyotiga ko'priq vazifasini o'taydi.

Mazkur cheklovlarga qaramasdan, qo'llanilgan metodologik yondashuv "Yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid nazariy yondashuvlar tahlili" mavzusidagi tadqiqotning asosiy maqsad va vazifalariga erishish uchun yetarli darajada kuchli va asoslangan deb hisoblanadi [6-7].

3. Natijalar

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, "Uch E" modeli (Engineering, Education, Enforcement) AQSh Milliy xavfsizlik kengashi tomonidan 1920-yillarda ishlab chiqilib,

zamonaviy YHX amaliyotining poydevorini yaratgan [5]. Modelning asosiy g'oyasi quyidagicha: muhandislik yechimlar (yo'l geometriyasi, svetoforlar, chiziqlar), ta'lim tadbirlari (haydovchi va piyodalar bilimini oshirish) hamda nazorat mexanizmlari (jarimalar, kameralar) birgalikda ishlashida YTH sezilarli kamayishi mumkin.

Modelning kuchli tomoni — amaliy qo'llanilishining qulayligi va cheklangan resurslar bilan ham amalga oshirish imkoni. Biroq asosiy kamchiligi shundaki, model inson psixologiyasini yetarlicha hisobga olmaydi va har uchala "E" ni bir xil ahamiyatda ko'rib chiqadi. Holbuki, amaliyot shuni ko'rsatadiki, ta'lim va nazorat chora-tadbirlari yaxlit tizimga birlashtirilmasdan qo'llansa, uzoq muddatli samarasini yo'qotadi.

William Haddon tomonidan 1972-yilda taklif etilgan matritsa YTH ni uch omil — inson, vosita va atrof-muhit — va uch vaqt bosqichi — hodisadan oldin, hodisa paytida, hodisadan keyin — kesishmasida ko'rib chiqadi [10]. Bu yondashuv YHX sohasida tizimli fikrlashning ilk namunasi sifatida tan olingan.

Haddon matritsasining afzalligi shundaki, u xavfsizlik muammosini tor texnik doiradan chiqarib, ijtimoiy, tibbiy va huquqiy aspektlarni ham qamrab olishga imkon beradi. Shu sababli matritsa bugungi kunda ham ko'plab mamlakatlarning YHX strategiyalarini ishlab chiqishda metodologik asos bo'lib xizmat qilmoqda.

Shvetsiyalik tadqiqotchi Claes Tingvall tomonidan 1997-yilda ilgari surilgan "Nol vision" (Vision Zero) konsepsiyasi yo'l-transport hodisalari natijasidagi barcha o'lim va og'ir jarohat holatlarini mutlaqo bartaraf etishni davlat siyosatining bosh maqsadi sifatida belgilaydi [7]. Konsepsiyaning asosiy falsafasi shundan iboratki, yo'l harakati tizimi inson xatolariga bardoshli (error-tolerant) bo'lishi kerak — ya'ni haydovchi noto'g'ri qaror qilsa ham, tizim bu xatoning halokatli natijaga aylanishining oldini olishi lozim.

"Nol vision" Shvetsiya, Norvegiya va Finlyandiyada davlat siyosati darajasida qabul qilinib, o'lim ko'rsatkichlarining tizimli ravishda kamayishiga olib keldi. Biroq bu konsepsiyani amalga oshirish uchun juda katta moliyaviy investitsiyalar, siyosiy iroda va uzoq muddatli majburiyat talab etiladi — bu esa uni rivojlanayotgan mamlakatlar uchun to'liq tatbiq etishni murakkablashtiradi [8].

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ya'ni Iqtisodiy hamkorlik va rivojlanish tashkiloti tomonidan 2008-yilda rasmiy tavsiya etilgan Xavfsiz tizim (Safe System Approach) yondashuvi to'rtta asosiy ustun atrofida qurilgan: xavfsiz yo'llar va ko'cha-yo'l tarmoqlari; xavfsiz tezlik; xavfsiz transport vositalari; xavfsiz harakatlanuvchilar. Ushbu yondashuv "Nol vision" konsepsiyasining operatsional ifodasiga aylanib, uni amaliyotga tatbiq etishning aniq mexanizmini taqdim etadi.

Xavfsiz tizim yondashuvining asosiy innovatsiyasi shundaki, u mas'uliyatni faqat haydovchiga yuklamaydi — aksincha, tizimni boshqaruvchilar (yo'l loyihachilari, siyosatchilar, transport vositalari ishlab chiqaruvchilari) ham asosiy mas'ul sifatida ko'riladi. Bu paradigmatic o'zgarish YHX siyosatini yangi bosqichga olib chiqdi [9].



1-jadval

Asosiy nazariy yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Yondashuv / Muallif	Asosiy g'oya	Kuchli tomoni	Cheklovi
"Uch E" modeli (AQSh, 1920)	Muhandislik + ta'lim + nazorat birligi	Amaliy va tejamkor	Psixologiya ni kam hisobga oladi
Haddon matritsasi (1972)	Inson-vosita-muhit, 3 vaqt bosqichi	Tizimli va keng qamrovli	Miqdoriy baholash qiyin
Vision Zero (Tingvall, 1997)	Tizim inson xatosiga chidamli bo'lishi kerak	Etik va umummilliy maqsad	Qimmat va uzoq muddat talab etadi
Xavfsiz tizim (OECD, 2008)	To'rtta ustun: yo'l, tezlik, vosita, inson	Kompleks va mas'uliyat taqsimlanadi	Tatbiq uchun kuchli siyosiy iroda kerak
HAM modeli (Silyanov)	Haydovchi-Avtomobil-Muhit tizimi	Muhandislik uchun qulay	Ijtimoiy omillarni kam hisobga oladi
Xavf gomeostazi (Wilde, 1982)	Haydovchi xavf darajasini muvozanatda ushlab turadi	Psixologik ta'sirlarni tushuntiradi	Empirik tekshirilishi murakkab

Jadvalda ko'rsatilgan, Rus olimi V.V. Silyanov ishlab chiqqan HAM modeli yo'l hodisalarini Haydovchi (H), Avtomobil (A) va yo'l-Muhit (M) o'rtasidagi o'zaro ta'sir tizimi orqali tushuntiradi [9]. Modelning amaliy ahamiyati shundaki, u yo'l xavfsizligi muhandisligida keng qo'llaniladi va hodisalarning texnik jihatdan chuqur tahlilini osonlashtiradi. Biroq model ijtimoiy-madaniy omillarni, jumladan haydovchi psixologiyasini, yetarlicha aks ettirmaydi.

G.J.S. Wildening "Xavf gomeostazi" (Risk Homeostasis) nazariyasi esa butunlay boshqa burchakdan yondashadi: haydovchilar o'z uchun maqbul xavf darajasini aniqlaydi va yo'l sharoiti yaxshilanganda xavfli haydashni ko'paytirish orqali ushbu darajani saqlab turishga intiladi. Bu nazariya ko'pgina muhandislik tadbirlarining kutilgan samarani bermayotganligi sababini tushuntirishga yordam beradi, lekin empirik jihatdan to'liq isbotlanishi hali ham muhokamada.

Tahlil qilingan nazariy yondashuvlarni O'zbekiston sharoitiga mosligi jihatidan baholash bir necha muhim omilni hisobga olishni taqozo etadi. Birinchidan, mamlakatimizda yo'l infratuzilmasini yangilashga katta mablag'lar sarflanmoqda — 61 trillion so'm ajratilgan, bu esa muhandislik yondashuvlar uchun qulay zamin yaratmoqda [11]. Ikkinchidan, haydovchilar ongini oshirish va nazorat mexanizmlarini kuchaytirish bo'yicha tizimli ishlar boshlangan. Uchinchidan, sun'iy intellekt va raqamli monitoring tizimlarining joriy etilishi zamonaviy yondashuvlarga yo'l ochmoqda.

Ushbu sharoitlarni inobatga olgan holda, O'zbekiston uchun hozirgi bosqichda "Uch E" modelini "Xavfsiz tizim" yondashuvi bilan uyg'unlashtirgan integratsion strategiya optimal hisoblanadi. Bu yondashuv resurs jihatdan tejamkor bo'lgan holda tizimli natijalarga erishish imkonini beradi. "Nol vizion" konsepsiyasini esa uzoq muddatli strategik maqsad sifatida belgilab, bosqichma-bosqich amalga oshirish maqsadga muvofiq.

4. Xulosa

Ushbu tadqiqotda yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashga oid oltita asosiy nazariy yondashuv — "Uch E" modeli, Haddon matritsasi, "Nol vision" konsepsiyasi, Xavfsiz tizim yondashuvi, HAM modeli va Xavf gomeostazi nazariyasi — qiyosiy tahlil qilinib, ularning ilmiy asosi, amaliy tatbiq imkoniyati va O'zbekiston sharoitiga mosligi baholandi.

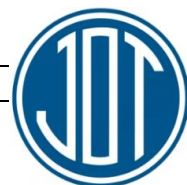
Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, YHX nazariyasi XX asrning 20-yillaridan hozirga qadar izchil ravishda rivojlanib, mas'uliyat faqat haydovchidan butun tizim — yo'l loyihachilari, siyosatchilar va ishlab chiqaruvchilar — ga qadar kengayib bordi [12]. Haddon matritsasi va Xavfsiz tizim yondashuvi muhandislik, ijtimoiy va siyosiy jihatlarini yagona metodologik doirada birlashtirganligi sababli eng keng qamrovli nazariy asos sifatida baholandi. "Nol vision" konsepsiyasi esa ushbu yondashuvlarning etik ifodasiga aylanib, bir qator rivojlangan davlatlarda o'lim ko'rsatkichlarini tizimli ravishda kamaytirishga xizmat qildi.

O'zbekiston sharoitida "Uch E" modelini "Xavfsiz tizim" yondashuvi bilan integratsiya qilish hozirgi bosqich uchun resurs jihatdan tejamkor va tizimli natijaga yo'naltirilgan optimal strategiya ekanligi asoslab berildi. Mavjud infratuzilma islohotlari, raqamli monitoring tizimlari va xalqaro tajriba asosida ushbu yondashuv amaliyotga tatbiq etilishi mumkin.

Kelajakdagi tadqiqotlarda "Nol vision" tamoyillarini milliy YHX strategiyasiga bosqichma-bosqich kiritish, GIS va sun'iy intellekt texnologiyalarini xavf zonalarini aniqlashda qo'llash hamda xalqaro standartlarni mahalliy sharoitga moslashtirish yo'nalishlarida izlanishlar olib borish tavsiya etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety. Geneva: WHO Press, 2023. 340 p.
- [2] Haddon W. A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. Journal of Trauma. 1972. Vol. 12. P. 193–207.



[3] Tingvall C., Haworth N. Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility. 6th ITE International Conference Road Safety and Traffic Enforcement: Beyond 2000. Melbourne, 1999.

[4] Аннакулова Г.К., Шермухамедов А.А., Усманов И.И., Ахмедов Ш.А. Методика расчета навесного устройства трактора повышенной грузоподъемности // Проблемы механики. – Ташкент, 2013.– № 3-4. – С.96-100.

[5] Narbut A.N. Gidravlicheskiye privody transportnykh i tekhnologicheskikh mashin. Moskva: Mashinostroyeniye, 2018. 312 s.

[6] Астанов Б.Ж. Юкори энергияли универсал-чопик тракторларининг гидравлик осма тизими параметрларини асослаш. Автореф. дисс. ... PhD. – Тошкент, 2019. - 45 б.

[7] European Road Safety Observatory. Annual Statistical Report on Road Safety in the EU. Brussels: ERSO, 2023.

[8] Байназаров Х.Р., Халмерзаев Қ. Тиркамалар кўтариб-ағдариш қурилмасининг иш жараёнига оид тадқиқот ишларининг таҳлили // Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция материаллари тўплами. - Андижон, АндМИ, - 2020. – Б. 443-447

[9] Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – Альянс, 2010. – 424 с

[10] Тоғаев А.А. 03 тоифали транспорт воситалари рама конструкциясининг параметрларини асослаш. Автореф. дисс. ... PhD. – Тошкент, 2017. - 58 б.

[11] Тракторы ТТ380.10 и ТТ3 80.11 Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. 80.10-0000010ИЭ. –Ташкент: Ташкентский тракторный завод, 2010. – 95 с.

[12] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "Yo'l xavfsizligini ta'minlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" 377-son qarori. Toshkent, 2018.

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

Jalolova Zilola / Andijon davlat texnika instituti,
Zilola Jalolova t.f.f.d.,(PhD) dotsenti
E-mail:
zilolajalolova1108@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-2835-806X>

Vahobov Andijon davlat texnika instituti,
Xindolbek / magistranti
Khindolbek
Vahobov



Development of a technology for producing coarse-grained tungsten carbide powders

KH.T. Tuychiev¹^a, KH.T. Tuychiev¹^b

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract:

This paper investigates the technology for manufacturing hard-alloy cutting teeth intended for mining excavation machines. The main objective of the study is to develop a coarse-grained tungsten carbide-based hard alloy with enhanced wear resistance and operational performance for efficient cutting of potash salt rocks. The macrostructure and microstructure of the obtained alloys were examined using metallographic microscopy, while phase composition was determined by X-ray diffraction analysis. Mechanical properties were evaluated using standard hardness and strength testing methods. As a result, a technology for producing hard-alloy tool materials of various shapes and dimensions based on coarse-grained tungsten carbide was developed. An optimal composition of a cobalt–nickel bonded hard alloy for RS-14 type cutting tools was proposed. The obtained results demonstrated that the developed material possesses high wear resistance and improved operational efficiency during the cutting of potash salt formations, making it suitable for application in mining equipment operating under severe abrasive conditions.

Keywords:

tungsten carbide, hard alloy, cobalt–nickel binder, carburization, synthesis, microstructure, wear resistance, mining cutters, potash salt rocks, cutting tools

Yirik donadorli volfram karbid kukunlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish

To‘ychiyev X.T.¹^a, To‘ychiyev X.T.¹^b

¹Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada konchilik sanoatida qo‘llaniladigan qazish mashinalari keskichlari uchun mo‘ljallangan qattiq qotishmali tishlarni tayyorlash texnologiyasi tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi kaliyli tuz jinslarini samarali parchalash imkonini beruvchi, yuqori yeyilishga chidamli va ekspluatatsion xossalarga ega bo‘lgan yirik donadorli volfram karbidi asosidagi qattiq qotishma tarkibini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot jarayonida qotishmalarining makro va mikrostrukturasi metallografik mikroskoplar yordamida o‘rganildi, fazaviy tarkibi rentgenostruktura tahlili orqali aniqlandi hamda mexanik xossalari standart sinov usullari asosida baholandi. Natijada yirik donadorli volfram karbidi asosida turli geometrik shakl va o‘lchamdagi qattiq qotishmali asbob materiallarini olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Tadqiqotlar asosida RS-14 turdagi keskichlar uchun kobalt-nikel bog‘lovchili qattiq qotishmaning optimal tarkibi tavsiya etildi. Olingan natijalar ishlab chiqilgan materialning kaliyli tuz jinslarini kesish jarayonida yuqori yeyilishga chidamlilik va ekspluatatsion samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar:

volfram karbidi, qattiq qotishma, kobalt-nikel bog‘lovchi, karbidlash, sintezlash, mikrostruktura, yeyilish, kon mashinalari keskichlari, kaliyli tuz jinslari

1. Kirish

Bugungi kunda dunyo miqyosida tog‘-kon sanoatida qo‘llaniladigan qazish mashinalarining keskichlarini qattiq qotishmalar asosida ishlab chiqarish, keskichlarning ishlash muddatini oshirish, fizik-mexanik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilash ustida olib borilayotgan tadqiqotlar mavzuning dolzarbligini ko‘rsatadi. Bu borada kaliyli tuz jinslarini samarali parchalovchi qattiq qotishmali

tishlarni volfram karbidi asosida ishlab chiqarish va ularni sohaga qo‘llash muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda tuz konlarida qo‘llaniladigan qazish mashinalari keskichlarining qattiq qotishmali tishlarining fizik-mexanik va ekspluatatsion xossalari oshirish hamda yangi qotishma tarkiblarini ishlab chiqish bo‘yicha keng ko‘lamda ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shu bilan bir qatorda qattiq qotishmali keskich materiallarining tarkibini ishlab chiqish va ularning mexanik xossalari oshirish, ularning fizik-mexanik va ekspluatatsion

^a <https://orcid.org/0009-0000-1117-7862>

^b <https://orcid.org/0009-0003-1861-6997>



xossalarini yaxshilaydigan volfram karbidi bilan bog'lovchi komponentlarini ishlab chiqish texnologiyalarni yaratish muammosi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Bu borada respublikada volfram karbidi asosida qattiq qotishmali tishlarni ishlab chiqarish, jumladan, konlarda qo'llaniladigan qazish mashinalari keskichlari uchun kaliyli tuz jinslarini samarali parchalaydigan, yuqori fizik-mexanik va ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan yirik donadorli volfram karbidi asosidagi qattiq qotishmali tishlarni ishlab chiqarish dolzarb masala bo'lib qolmoqda.

Respublikada ishlatilayotgan konlarda qo'llaniladigan qazish mashinalari keskichlarining mustahkamligi va yeyilishbardoshligini oshirishga qaratilgan chora-tadbirlarda, shuningdek 2017-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida, jumladan «makroiqtisodiy barqarorlikni mustahkamlash va yuqori iqtisodiy o'sish sur'atlarini saqlab qolish, milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligini oshirish, iqtisodiyotda energiya va resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish» kabi vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirish, jumladan konlarda qo'llaniladigan qazish mashinalari keskich tishlari materiallarining yangi tarkibini volfram karbidi asosida ishlab chiqish va uni olish texnologiyasini ishlab chiqish asosiy vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi

PF-4947-son «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni, 2016 yil 26 dekabrda

PQ-2698-son «2017-2019 yillarda tayyor mahsulot turlari, butlovchi buyumlar va materiallar ishlab chiqarishni mahalliyalashtirishning istiqbolli loyihalarini amalga oshirishni davom ettirish chora-tadbirlari to'g'risida», 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-son «Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi [1,2,3].

2. Tadqiqot metodologiyasi

«Yirik donadorli volfram karbid kukunlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish» deb nomlangan maqolamizda volfram kukunini uglerod kukuni bilan karbidlash nazariy asoslarining tahliliga, volfram va uglerod kukunlarining aralashmasidan sof elementlardan sintezlash usulida yirik donadorlikka ega bo'lgan volfram karbid kukunlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish, texnologik struktura-fazalar tarkibiga, donadorligiga, zarracha o'lchami va shakliga hamda tarkibidagi bog'langan va erkin uglerod miqdoriga ta'sirini tadqiq qilish natijalariga bag'ishlangan [4,5].

Hisoblar shuni ko'rsatdiki, o'lchami 10 mkm bo'lgan volfram zarrachaga 1900oS haroratda gaz fazadan uglerodning statsionar diffuziyasida uglerodning diffuzion oqimi $6,01 \cdot 10^{-11}$ g/(sm²·s) tashkil etgan, haroratning 2500oS ga o'tishi uglerodning volframdagi diffuzion oqimini 1339 marta oshirgan va $4,15 \cdot 10^{-8}$ g/(sm²·s) tashkil etgan. Shuningdek, uglerodning 1900oS haroratda

volframga nostatsionar diffuziyasida o'lchami 10 mkm bo'lgan zarrachaning to'liq WC hosil bo'lib, karbidlanish vaqti 3,206 soniyani tashkil etishi ko'rsatib berilgan [6,7].

Uglerodning volframga statsionar diffuziyasi uchun uglerodning diffuzion oqimini hisoblashda Fik qonunining sharsimon yuzalar uchun mo'ljallangan formulasidan foydalanildi:

$$J = 4\pi D(C_A - C_B) \frac{r_B r_A}{r_B - r_A}$$

bunda J – diffuziya oqimi, g/(sm²·s);

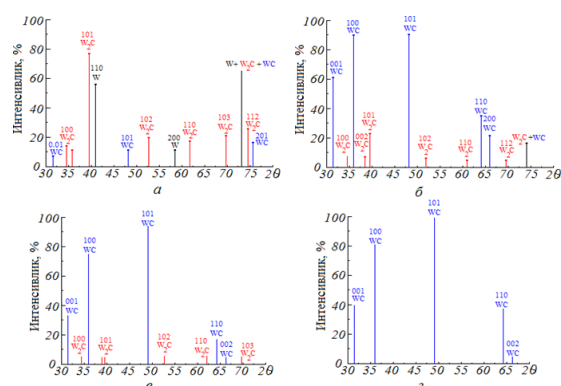
D – uglerodning volframga diffuziyasi koeffitsiyenti, sm²/s;

S_A – volfram zarrachasining tashqi yuzasidagi uglerod konsentratsiyasi, A nuqta, %;

S_V – volfram zarracha ichidagi uglerodning konsentratsiyasi, V nuqta, %;

r_A va r_B – mos ravishda volfram zarrachasidagi nuqtalar koordinatasi, sm.

3. Natijalar



a – 1900 oC; b – 2000 oC; c – 2100 oC; d – 2200 oC

1– rasm. Turli haroratlarda va 2 soat davomida karbidlangan namunalar difraktogrammasining shtrix-diagrammasi

Turli 1900, 2000, 2100, 2200 °C haroratlarda va bir xil vaqt davomida karbidlash jarayonidan o'tgan volfram va uglerod kukuni aralashma namunalarining sifatli rentgenostruktura-fazali tahlili natijalariga ko'ra 2200°C haroratda va 2 soat vaqt davomida karbidlash jarayonidan o'tgan namuna to'liq WC fazasidan tashkil topgan bo'lib, bunda WC – fazasining uglerod bilan 6,13% to'yinishiga jarayon davomiylik vaqti yetmaganligi aniqlangan (1 – rasm).

Bir xil 2200oS harorat va turli 3,4,5,6 soat vaqt davomida karbidlash jarayonidan o'tgan volfram va uglerod kukun aralashma namunalarining rentgenostruktura-fazali tahlili shuni ko'rsatdiki, 2200°C haroratda va 4 soat davomida WC – fazasida 6,12% uglerodga to'yinadi va karbidlash jarayonining keyingi 5, 6 soat davomida WC – fazadagi uglerod miqdori o'zgarimasdan qoladi (1– jadval).

Karbidlash jarayonining davomiylik vaqtining WC donadorligiga va zarrachalar o'lchami hamda shakliga ta'sirini tadqiq qilish bo'yicha o'tkazilgan tadqiqot natijasiga ko'ra WC kukuni donadorligi boshlang'ich volfram kukuni donadorligiga va jarayon vaqtining davomiyligiga bog'liq holda quyida keltirilgan tartibda shakllanadi:

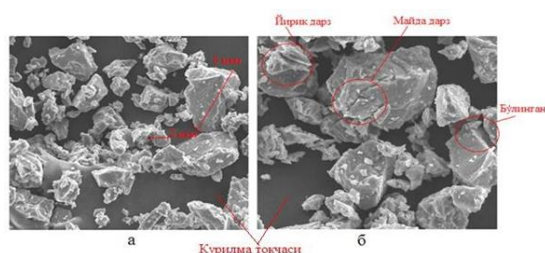
- karbidlash jarayonining 3...4 soatlarida volfram kukuni zarrachalarida sodir bo'ladigan kristall o'zgarishlar natijasida hosil bo'ladigan ichki zo'riqishlar yirik ($d \geq 8$



mkm) o'lchamli zarrachalarning o'lchami 1...6 mkm bo'lgan mayda zarrachalarga parchalanishiga olib kelgan (2 – rasm);

1 – jadval
2200 oS haroratda va turli vaqt davomida karbidlangan namunalardagi uglerod miqdorini aniqlash bo'yicha o'tkazilgan tahlil natijalari

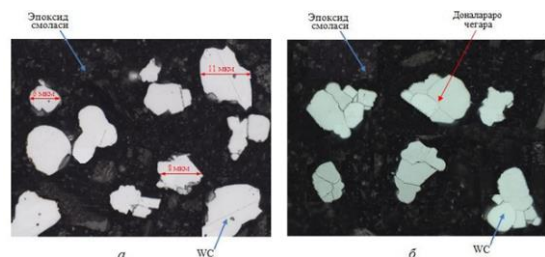
Uglerod, %	Karbidlash jarayoni vaqtining davomiyligi, soat			
	3	4	5	6
Bog'langan uglerod, S_{bg}	6,0	6,12	6,12	6,12
Erkin uglerod, S_{erk}	0,13	0,03	0,03	0,03
$S_{bog} + S_{erk}$	6,13	6,15	6,15	6,15



2– rasm. 2200 oC haroratda va 4 soat davomida karbidlangan namuna kukunining surati

- jarayonning 4...5 soatlarida o'lchami 7...8 mkm bo'lgan volfram zarrachalarni o'lchami

1...3 mkm bo'lgan mayda zarrachalar bilan birikadi va natijada o'lchami 9...12 mkm bo'lgan yirik zarrachalar hosil bo'ladi (3–rasm);



a – travitlanmagan; b - travitlangan
3– rasm. 2200 oC haroratda va 5 soat vaqt davomida karbidlangan zarrachalarning mikrostruktura surati

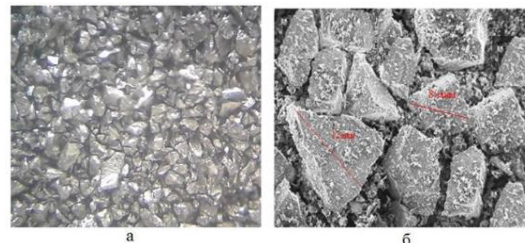
- karbidlash jarayonining 5...6 soatlari davomida volfram karbidi kukun zarrachalari bir-biri bilan to'liq qattiq fazali diffuzion pishib, volfram karbidi zarrachalaridan tashkil topgan g'ovakli bloklar hosil bo'ladi (4 – rasm);

- volfram karbidi kukuni zarrachalarining shakli karbidlash jarayoni vaqti davomiyligiga bog'liq holda, zarrachalar shakli qirralidan qirrasizgacha o'zgaradi (5 – rasm).

2200 °C harorat va turli vaqt davomida karbidlash jarayonidan o'tgan namunalarning kukunlarining donadorligi tadqiqoti natijasida olingan volfram karbidi kukunlari donadorligining shakllanish dinamikasi 6 – rasmda keltirilgan.

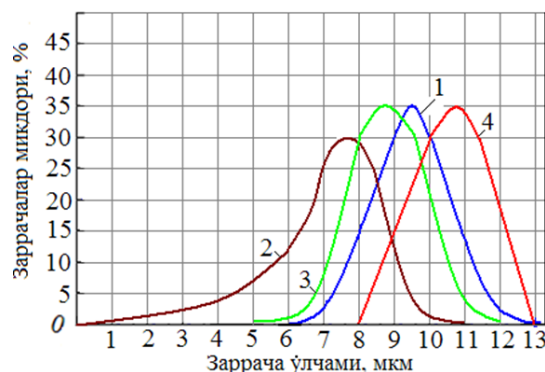


4– rasm. 2200 oC haroratda va 6 soat davomida karbidlangan namunalalar



a – x800; b – x3000

5– rasm. 2200 oC haroratda va 6 soat davomida karbidlangan namuna kukunining surati



1– volfram; 2 – 4 soat; 3 – 5 soat; 4 – 6 soat

6– rasm. 2200 oC haroratda va turli vaqt davomida karbidlangan namuna kukun donadorligining shakllanish dinamikasi

2200 °C harorat va turli vaqt davomida karbidlash jarayonidan o'tkazilgan kukun namunalari zarrachalarining mikroqattiqligi tahlili shuni ko'rsatdiki, 4 soat davomida karbidlangan kukun namuna zarrachasining mikroqattiqligi 5 va 6 soat davomida karbidlangan namuna kukun zarrachasining mikroqattiqligidan katta (2 – jadval).

O'tkazilgan tadqiqotlar natijalari asosida W9,5 markali volfram va uglerod kukunlari aralashmasidan sof elementlardan sintezlash usulida donadorligi o'rtacha 5...8, 7...10 va 9...12 mkm bo'lgan volfram karbidi kukunlarini olish texnologiyasi ishlab chiqilgan (3 – jadval).

2-jadval

2200 oC haroratda va turli vaqt davomida karbidlangan namunalarning kukuni zarrachalarining mikroqattiqligi

Zarracha o'lchami, mkm	Yuklama, gr	Karbidlash jarayonining vaqt davomiyligi, soat		
		4	5	6
		Mikroqattiqlik, GPa		
8...10	50	23,856	23,536	23,476



3– jadval

Sof elementlardan sintezlash usulida W9,5 markali volfram va uglerod kukunlarini karbidlash texnologiyasi

WC Donadorl i-gi, mkm	Jihozi	Har o-rati, °C	Muxit sarfi, m ³ /soat	Vaqt davomiyligi, soat	Unumdorligi, kg/sm ^{ena}
5...8	Grafitt nayli PGT -60/2	2200	N ₂ , 1	4	32
8...10				5	25
11...12				6	20

4. Xulosa

Olib borilgan izlanishlar natijasida quyidagicha xulosa qilish mumkin: Yirik donali volfram karbid kukunidan RS-14 turdagi keskichlar uchun kobalt-nikel bog'lovchili qattiq qotishmaning tarkibi, kaliyli tuz jinslarini kesish jarayonidagi yeyilish miqdoriga ko'ra ishlab chiqilgan. Yirik donali o'lchamdagi volfram karbidini olish texnologiyasi volfram karbid kukunlarini sof elementlardan sintezlash haroratiga, davomiyligiga va volfram kukunining donadorligiga ko'ra ishlab chiqilgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida» gi Farmoni
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2016 yil 26 dekabrda PQ-2698-son «2017-2019 yillarda tayyor mahsulot turlari, butlovchi buyumlar va materiallar ishlab chiqarishni mahalliyashtirishning istiqbolli loyihalarini amalga oshirishni davom ettirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi qarori.
- [3] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-son «Innovatsion g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi qarori.

[4] С.Д. Нурмуродов, А.Х. Расулов, А.А.Алланазаров, У.Э. Нормуродов. Инструментальные сверхтвердые композиционные материалы.// SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT #16 Barcelona 29.04.2019-30.04.2019 305-307 с.

[5] С.Д. Нурмуродов, А.Х. Расулов, А.А. Алланазаров. Разработка технология изготовления формообразующих инструментов с использованием высокодисперсных порошков тугоплавких металлов.// Республиканской научно-технической конференции «Ресурсо и энергосберегающие, экологически безвредные композиционные и наноконпозиционные материалы» 25-26 апреля 2019г. Ташкент. 138-140 с.

[6] С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров, У.Э. Нормуродов. Восстановления изношенных рабочих поверхностей инструментов.// Республиканской научно-технической конференции «Ресурсо и энергосберегающие, экологически безвредные композиционные и наноконпозиционные материалы» 25-26 апреля 2019г. Ташкент. 136-137 с.

[7] У.Э. Нормуродов, А.А. Алланазаров. Технологии изготовления твердосплавного, формообразующего оборудования. Республика жанубида транспорт-йўл комплексини ривожлантириш истикболлари республика илмий – техникавий анжумани 30-31 март Термиз-2017 51-54 бетлар.

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

To'ychiyev Andijon davlat texnika instituti, katta o'qituvchi, PhD
Xasanboy / Tuychiev E-mail:
Khasanboy xasanboy.toychiyev.toxirogli@gmail.com
Tel: +99899-368-88-39
<https://orcid.org/0009-0000-1117-7862>

To'ychiyev Andijon davlat texnika instituti, assistant
Xusanboy / Tuychiev E-mail:
Khusanboy husanboytoychiyev55@gail.com
Tel: +998 (88) 992-42-20
<https://orcid.org/0009-0003-1861-6997>



Optimization of energy efficiency in irrigation pumping stations: Mathematical modeling using Bellman and Pontryagin approaches

J.N. Gulyamov¹^a, H.H. Toshmamatov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article investigates the problem of improving the energy efficiency of pumping stations used in irrigation systems. Irrigation pumping stations are an essential component of agricultural water supply systems, and their operation is associated with significant electricity consumption. Therefore, optimizing the operating modes of pumping stations plays an important role in the efficient use of energy resources. In this study, a mathematical model of pumping stations used in irrigation systems was developed, and the relationship between water flow rate, hydraulic head, and electrical energy consumption was analyzed. In order to minimize energy consumption, an optimization problem was formulated and solved using dynamic optimization methods. During the research, an optimal control model was developed based on the methods of Dynamic Programming and the Pontryagin Maximum Principle. These theories were developed by Richard Bellman and Lev Pontryagin respectively, and are widely applied in the optimization of complex technical systems. The research object was a two-stage pumping station system that takes water from the Great Fergana Canal. Based on the technical parameters of the pumping stations, the water flow rate, hydraulic losses, and electrical energy consumption were calculated. An optimal control regime was also determined to improve the energy efficiency of the system. The results of the study show that optimal control of pumping stations can reduce energy consumption by 20–30%. The obtained results have significant scientific and practical importance for the modernization of irrigation systems and the implementation of energy-saving technologies.

Keywords:

irrigation system, pumping station, energy efficiency, mathematical modeling, optimization, operations research, dynamic programming, optimal control, hydraulic systems, energy saving

Irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini optimallashtirish: Bellman va Pontryagin usullari asosida matematik modellash

J.N. Gulyamov¹^a, H.H. Toshmamatov¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada irrigatsiya tizimlarida qo'llaniladigan nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish muammosi tadqiq etiladi. Irrigatsiya nasos stansiyalari qishloq xo'jaligi suv ta'minotining muhim elementi hisoblanib, ularning ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfi bilan bog'liq. Shu sababli nasos stansiyalarining ish rejimini optimallashtirish energetik resurslardan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotda irrigatsiya tizimlarida ishlatiladigan nasos stansiyalarining matematik modeli ishlab chiqilib, suv sarfi, gidravlik balandlik hamda elektr energiya sarfi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilindi. Energiya sarfini minimallashtirish maqsadida optimallashtirish masalasi ko'rib chiqildi va u dinamik optimallashtirish usullari yordamida yechildi. Tadqiqot jarayonida Dynamic Programming usuli hamda Pontryagin Maximum Principle asosida optimal boshqaruv modeli ishlab chiqildi. Mazkur nazariyalar mos ravishda R.Bellman va L.Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, murakkab texnik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi ikki bosqichli nasos stansiyalari tizimi tanlandi. Nasos stansiyalarining texnik parametrlari asosida suv sarfi, gidravlik yo'qotishlar va elektr energiya sarfi hisoblandi hamda optimal boshqaruv rejimi aniqlanib, tizimning energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko'rsatib berildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos stansiyalarini optimal boshqarish orqali energiya sarfini 20–30 foizgacha kamaytirish mumkin. Olingan natijalar irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar:

irrigatsiya tizimi, nasos stansiyasi, energiya samaradorligi, matematik modellash, optimallashtirish, operatsiyalar tadqiqi, dinamik dasturlash, optimal boshqaruv, gidravlik tizimlar, energiya tejash

^a <https://orcid.org/0000-0003-1984-9111>



1. Kirish

Hozirgi kunda qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqaror rivojlanishi ko'p jihatdan suv resurslaridan samarali foydalanishga bog'liq. Ayniqsa sug'oriladigan dehqonchilik rivojlangan hududlarda irrigatsiya tizimlari qishloq xo'jaligi mahsulotlari yetishtirishning asosiy infratuzilma elementlaridan biri hisoblanadi. Irrigatsiya tizimlarining samarali ishlashi esa suvni manbalardan iste'molchilarga yetkazib berish jarayonining texnik jihatdan to'g'ri tashkil etilishiga bog'liq [9]. Ko'plab irrigatsiya tizimlarida suv tabiiy gravitatsiya kuchi yordamida emas, balki nasos stansiyalari orqali yuqori balandlikka ko'tarilib uzatiladi. Shu sababli nasos stansiyalari irrigatsiya tizimlarining eng muhim texnologik elementlaridan biri hisoblanadi.

Nasos stansiyalarining asosiy vazifasi suvni manbadan olib, ma'lum balandlikka ko'tarish hamda sug'orish tarmoqlariga yetkazib berishdan iborat. Biroq bunday tizimlarning ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfini talab qiladi. Ayniqsa yirik irrigatsiya tizimlarida nasos agregatlarining uzluksiz ishlashi energiya resurslarining sezilarli darajada sarflanishiga olib keladi [10]. Energiya sarfi ko'pincha nasoslarning noto'g'ri boshqarilishi, suv sarfining talabga mos kelmasligi hamda gidravlik tizimdagi yo'qotishlar bilan bog'liq bo'ladi. Shu sababli nasos stansiyalarining ish rejimini optimallashtirish irrigatsiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishda muhim ilmiy va amaliy masala hisoblanadi.

Zamonaviy muhandislik amaliyotida nasos tizimlarini optimallashtirish uchun matematik modelashtirish va optimallashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda [3]. Bunday usullar yordamida nasos stansiyalarining energiya sarfini kamaytirish, suv taqsimotini optimal tashkil etish hamda tizimning umumiy samaradorligini oshirish mumkin. Ayniqsa murakkab texnik tizimlar uchun dinamik optimallashtirish usullari muhim ahamiyatga ega. Ushbu usullar tizimning vaqt bo'yicha o'zgaruvchan parametrlarini hisobga olgan holda optimal boshqaruv strategiyasini ishlab chiqish imkonini beradi.

Murakkab texnik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladigan usullardan biri Dynamic Programming hisoblanadi. Ushbu nazariya R.Bellman tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ko'p bosqichli qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi [1]. Dinamik dasturlash usuli yordamida tizimning har bir bosqichida optimal qarorlar ketma-ketligi aniqlanadi va umumiy optimallik sharti ta'minlanadi. Bu usul energiya sarfi, ishlab chiqarish jarayonlari hamda transport tizimlarini optimallashtirishda keng qo'llaniladi.

Optimal boshqaruv yondashida muhim o'rin tutadigan yana bir fundamental nazariya Pontryagin Maximum Principle hisoblanadi. Ushbu prinsip L.Pontryagin va uning ilmiy maktabi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, dinamik tizimlarda optimal boshqaruvni aniqlash uchun zarur shartlarni belgilaydi [2]. Pontryagin maksimal prinsipi yordamida tizimning harakat tenglamalari asosida optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash mumkin. Bu nazariya energetika tizimlari, avtomatik boshqaruv, transport tizimlari va boshqa ko'plab muhandislik sohalarida qo'llaniladi.

Irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi ham aynan shunday optimallashtirish yondashuvlarini talab qiladi. Nasos stansiyalarining ishlash jarayonida suv sarfi, ko'tarish

balandligi, gidravlik yo'qotishlar hamda elektr energiya sarfi o'zaro murakkab bog'liqlikka ega [4, 5, 7]. Shu sababli nasos tizimining matematik modelini ishlab chiqish va optimal boshqaruv strategiyasini aniqlash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi matematik modelashtirish asosida tahlil qilinadi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi ikki bosqichli nasos stansiyasi tizimi tanlangan. Ushbu tizim qishloq xo'jaligi maydonlarini sug'orish uchun mo'ljallangan bo'lib, suvni kanal sathidan yuqori balandlikka ko'tarish orqali sug'orish tarmoqlariga uzatadi. Tizimning texnik parametrlarini hisobga olgan holda suv sarfi, gidravlik yo'qotishlar hamda energiya sarfi o'rnatidagi bog'liqlik tahlil qilinadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya sarfini minimallashtirish uchun optimal boshqaruv modelini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- irrigatsiya nasos stansiyasining matematik modelini ishlab chiqish;
- nasos tizimining gidravlik parametrlarini tahlil qilish;
- energiya sarfini hisoblash formulalarini aniqlash;
- dinamik optimallashtirish usullari asosida optimal boshqaruv modelini ishlab chiqish;
- real irrigatsiya tizimi misolida hisob-kitoblarni o'tkazish.

Mazkur tadqiqot natijalari irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy va amaliy tavsiyalar ishlab chiqish imkonini beradi. Shuningdek, olingan natijalar irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda suv resurslaridan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar tahlili

Irrigatsiya tizimlarida energiya samaradorligini oshirish masalasi so'nggi yillarda muhandislik, energetika va operatsiyalar tadqiqi sohalarida keng o'rganilayotgan ilmiy muammolardan biridir [9]. Nasos stansiyalari irrigatsiya tizimlarining asosiy texnologik elementlaridan biri bo'lib, ular orqali suv manbalardan yuqori balandlikdagi sug'orish maydonlariga uzatiladi. Biroq nasos agregatlarining ishlashi katta miqdorda elektr energiyasi sarfini talab qiladi. Shu sababli nasos tizimlarining energiya samaradorligini oshirish va ularning ish rejimini optimallashtirish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi [10].

Nasos tizimlarini optimallashtirish masalasi ko'plab ilmiy tadqiqotlarda matematik modelashtirish va optimallashtirish usullari asosida o'rganilgan. Ayniqsa murakkab texnik tizimlarni boshqarishda operatsiyalar tadqiqi usullaridan foydalanish keng tarqalgan. Operatsiyalar tadqiqi ishlab chiqarish, transport, energetika va logistika tizimlarini optimallashtirishga qaratilgan ilmiy yo'nalish bo'lib, u matematik modelar yordamida optimal qarorlar qabul qilish imkonini beradi [3].

Murakkab dinamik tizimlarni optimallashtirishda eng muhim nazariyalardan biri Dynamic Programming (Dinamik dasturlash) hisoblanadi. Ushbu nazariya R.Bellman tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ko'p bosqichli qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirishga imkon beradi [1]. Dinamik dasturlash usuli optimal qarorlar ketma-ketligini aniqlashga asoslangan bo'lib, tizimning har bir



bosqichidagi optimal yechim keyingi bosqichlar bilan bog'liq holda aniqlanadi. Bellman tomonidan ishlab chiqilgan optimallik prinsipi ko'plab muhandislik masalalarini yechishda qo'llaniladi.

Dinamik dasturlash nazariyasi energetika tizimlarini boshqarishda ham keng qo'llaniladi [1, 3]. Energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlarida resurslardan samarali foydalanish uchun optimal boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqish zarur. Nasos stansiyalarining ishlash jarayonida suv sarfi, energiya sarfi va gidravlik parametrlar o'zaro bog'liq bo'lib, bunday tizimlarni optimallashtirish uchun dinamik modellarni qo'llash samarali hisoblanadi. Bir qator ilmiy tadqiqotlarda dinamik dasturlash yordamida suv taqsimoti tizimlarini optimallashtirish va energiya sarfini kamaytirish mumkinligi ko'rsatib berilgan [1].

Optimal boshqaruv nazariyasida muhim o'rin tutadigan yana bir fundamental yondashuv Pontryagin Maximum Principle (Pontryagin maksimal prinsipi) hisoblanadi. Ushbu prinsip L. Pontryagin va uning ilmiy maktabi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, dinamik tizimlarda optimal boshqaruvni aniqlash uchun zarur matematik shartlarni belgilaydi [2]. Pontryagin maksimal prinsipi yordamida tizimning harakat tenglamalari asosida optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash mumkin. Ushbu nazariya optimal boshqaruv, avtomatik boshqaruv tizimlari, aerokosmik texnika, energetika va boshqa ko'plab muhandislik sohalarida keng qo'llaniladi.

Optimal boshqaruv nazariyasining irrigatsiya tizimlarida qo'llanilishi suv resurslarini samarali taqsimlash imkonini beradi. Nasos stansiyalarining ish rejimini optimal boshqarish orqali energiya sarfini kamaytirish va tizim samaradorligini oshirish mumkin. Ko'plab ilmiy tadqiqotlarda nasos tizimlarini optimallashtirish uchun matematik modellar ishlab chiqilgan bo'lib, ular suv sarfi, bosim yo'qotishlari, nasos quvvati va energiya sarfi o'rtasidagi bog'liqlikni tahlil qilish imkonini beradi [4, 7].

Nasos tizimlarining energiya samaradorligini oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, energiya sarfining katta qismi gidravlik yo'qotishlar hamda nasos agregatlarining noto'g'ri boshqarilishi bilan bog'liq. Quvurlardagi ishqalanish qarshiligi, suv oqimining turbulensiyasi hamda nasoslarning nominal rejimdan chetga chiqib ishlashi energiya sarfining ortishiga olib keladi [5, 6, 8]. Shu sababli nasos tizimlarining matematik modelini ishlab chiqish va ularni optimal boshqarish strategiyalarini aniqlash muhim ilmiy muammo hisoblanadi.

So'nggi yillarda nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish kuydi zamonaviy boshqaruv texnologiyalaridan foydalanish keng rivojlanmoqda. Xususan, chastota boshqaruv qurilmalari, avtomatik boshqaruv tizimlari, sensorlar va masofaviy monitoring tizimlari nasos agregatlarining ish rejimini optimallashtirish imkonini beradi [4, 10]. Bunday texnologiyalar yordamida nasoslarning ish tezligini suv talabiga mos ravishda boshqarish mumkin bo'lib, bu energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishga yordam beradi.

Irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish jarayonida energiya samaradorligini oshirish masalasi alohida ahamiyat kasb etmoqda. Ko'plab davlatlarda irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish dasturlari doirasida nasos stansiyalarini optimallashtirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda suv resurslarini boshqarish tizimlarini takomillashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda [9, 10]. Bunday tadqiqotlar

irrigatsiya tizimlarining barqaror ishlashini va energetik resurslardan samarali foydalanishni ta'minlashga xizmat qiladi.

Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasi hali ham dolzarb ilmiy muammolardan biri hisoblanadi. Nasos tizimlarining matematik modellarini ishlab chiqish, energiya sarfini optimallashtirish hamda optimal boshqaruv strategiyalarini aniqlash irrigatsiya tizimlarining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Shu sababli mazkur tadqiqotda irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini optimallashtirish masalasi matematik modellashtirish hamda dinamik optimallashtirish usullari (Bellman va Pontryagin yondashuvlari) asosida o'rganiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Nasos stansiyasi tizimining umumiy modeli: Irrigatsiya tizimlarida qo'llaniladigan nasos stansiyalari suvni manbadan ma'lum balandlikka ko'tarib sug'orish tarmoqlariga uzatish vazifasini bajaradi. Nasos tizimining ishlash jarayoni gidravlik va energetik jarayonlarning o'zaro bog'liqligiga asoslanadi. Shu sababli tizimni tahlil qilish uchun matematik modellashtirish usullaridan foydalanish zarur.[9,10].

Nasos tizimining asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

- suv sarfi Q
- ko'tarish balandligi H
- gidravlik yo'qotishlar h_f
- nasos quvvati P
- tizim samaradorligi η

Nasos tizimining asosiy vazifasi suvni ma'lum balandlikka ko'tarishdan iborat bo'lib, bu jarayon gidravlik energiya hisobiga amalga oshiriladi.[4].

Nasos quvvatining matematik modeli: Nasos stansiyasining gidravlik quvvati quyidagi formula yordamida aniqlanadi [4,7]:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (1)$$

bu yerda:

- P — nasos quvvati (W)
- ρ — suv zichligi (1000 kg/m^3)
- g — erkin tushish tezlanishi (9.81 m/s^2)
- Q — suv sarfi (m^3/s)
- H — ko'tarish balandligi (m)
- η — nasos samaradorligi

Amaliy misol: Agar: $Q = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, $H = 50 \text{ m}$, $\eta = 0.85$ bo'lsa, nasos quvvati quyidagicha hisoblanadi:

$$P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.9 \times 50}{0.85} \approx 519000 \text{ W yoki } P \approx 519 \text{ kW}$$

Amaliy tizimlarda esa dvigatel quvvati odatda biroz yuqoriroq tanlanadi. Masalan, ko'rib chiqilayotgan tizimda dvigatel quvvati 800 kVt ni tashkil etadi.

Quvurlardagi gidravlik yo'qotishlar

Nasos tizimida energiya sarfining muhim qismi quvurlardagi gidravlik yo'qotishlar bilan bog'liq. Ushbu yo'qotishlar suv oqimining quvur devorlari bilan ishqalanishi natijasida yuzaga keladi. Quvurlardagi bosim



yo'qotishlari Darcy–Weisbach tenglamasi yordamida aniqlanadi [5,6,8]:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2)$$

bu yerda:

- f — ishqalanish koeffitsienti
- L — quvur uzunligi
- D — quvur diametri
- v — suv tezligi

Misol

Agar:

$L = 6000 \text{ m}$, $D = 1.2 \text{ m}$, $v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $f = 0.02$ bo'lsa:

$$h_f = 0.02 \times \frac{6000}{1.2} \times \frac{2^2}{2 \times 9.81} \approx 20.4 \text{ m}$$

Demak quvurda taxminan **20 metr gidravlik yo'qotish yuzaga keladi.**

Nasos tizimining differensial tenglama modeli: Nasos tizimidagi suv harakati vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Shu sababli tizimni dinamik model yordamida ifodalash mumkin..

Rezervuardagi suv hajmi uchun differensial tenglama:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in(t)} - Q_{out(t)} \quad (3)$$

bu yerda:

- $V(t)$ — rezervuardagi suv hajmi
 - Q_{in} — nasos orqali kelayotgan suv
 - Q_{out} — iste'mol qilinayotgan suv
- Agar rezervuar kesim yuzasi A bo'lsa:

$$V = Ah \quad (4)$$

Shunda suv balandligi uchun tenglama:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_{in(t)} - Q_{out(t)} \quad (5)$$

Bu tenglama nasos tizimining dinamik modelini ifodalaydi.

Bellman usuli asosida optimallashtirish: Murakkab dinamik tizimlarni optimallashtirishda keng qo'llaniladigan usullardan biri Dynamic Programming hisoblanadi. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan.

Bellman optimallik prinsipi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$V_i(x) = \min[C(x, u) + V_{i+1}(f(x, u))] \quad (6)$$

bu yerda:

- $V_i(x)$ — optimal qiymat funksiyasi
- $C(x, u)$ — boshqaruv xarajati
- $f(x, u)$ — tizim dinamikasi

Nasos tizimida boshqaruv parametri sifatida nasoslarning ishlash quvvati yoki soni olinadi.

Masalan, agar nasoslar soni 4 ta bo'lsa, har bir bosqichda optimal ishlash rejimi tanlanadi. Bu energiya sarfini kamaytirishga yordam beradi.

Pontryagin maksimal prinsipi: Optimal boshqaruv nazariyasining muhim usullaridan biri Pontryagin Maximum Principle hisoblanadi. Ushbu nazariya L.Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan[2]. Optimal boshqaruv masalasi quyidagicha yoziladi:

$$J = \min \int_0^T P(t) dt \quad (7)$$

bu yerda:

- J — energiya sarfi
- $P(t)$ — vaqt bo'yicha quvvat

Hamilton funksiyasi:

$$H = P(t) + \lambda(t)x(t) \quad (8)$$

Optimal shart:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad (9)$$

Bu shart nasos tizimi uchun optimal boshqaruv strategiyasini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot algoritmi

Mazkur tadqiqot quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

1. Nasos tizimining texnik parametrlarini aniqlash
2. Gidravlik modelni ishlab chiqish
3. Energiya sarfi formulalarini aniqlash
4. Matematik optimallashtirish modelini tuzish
5. Bellman algoritmini qo'llash
6. Pontryagin maksimal prinsipini qo'llash
7. Real irrigatsiya tizimi uchun hisoblashlar o'tkazish

3. Natija va muhomalar

Mazkur tadqiqotda irrigatsiya tizimida qo'llaniladigan ikki bosqichli nasos stansiyasining energiya sarfi matematik modellashirish usullari asosida tahlil qilindi. Tadqiqot obyekti sifatida Katta Farg'ona kanalidan suv oluvchi nasos stansiyasi tizimi tanlandi. Ushbu tizim orqali suv kanal sathidan yuqori balandlikdagi sug'orish tarmoqlariga uzatiladi.

Tizim ikki bosqichli nasos stansiyasidan iborat bo'lib, birinchi stansiya suvni kanal sathidan yuqoriga ko'taradi, ikkinchi stansiya esa suvni qo'shimcha balandlikka ko'tarib sug'orish tarmoqlariga uzatadi.

Birinchi nasos stansiyasining hisoblari

Birinchi nasos stansiyasining asosiy texnik ko'rsatkichlari quyidagilardan iborat: nasoslar soni — 4 ta, dvigatel quvvati 800 kVt, nasos unumdorligi $900 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ko'tarish balandligi 50 m. Suv sarfini **SI (Xalqaro birliklar tizimi)** tizimiga o'tkazamiz:

$$Q = 900 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Nasosning gidravlik quvvati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (10)$$

bu yerda:

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, Q = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, H = 50 \text{ m}, \eta = 0.85$$

$$\text{Hisoblaymiz: } P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.9 \times 50}{0.85} \approx 519000 \text{ W}$$

Amaliy tizimda dvigatel quvvati 800 kVt bo'lib, bu qiymat gidravlik yo'qotishlar va zaxira quvvatni hisobga olgan holda tanlangan.

Agar 4 ta nasos bir vaqtning o'zida ishlasa:

$$P_{total} = 4800, P_{total} = 3200 \text{ kW}$$

Ikkinchi nasos stansiyasining hisoblari

Ikkinchi nasos stansiyasining asosiy parametrlari: nasoslar soni 5 ta, dvigatel quvvati 320 kVt, nasos sarfi 700 l/s, ko'tarish balandligi 25 m. Suv sarfini o'tkazamiz:

$$Q = 700 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad Q = 0.7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Nasos quvvati: } P = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.7 \times 25}{0.85} \approx 202000 \text{ W yoki } 202 \text{ kW}$$

Amaliy dvigatel quvvati: 320 kW; 5 ta nasos ishlaganda: $P_{total} = 5 \times 320, P_{total} = 1600 \text{ kW}$



Tizimning umumiy energiya sarfi: Ikki nasos stansiyasining umumiy quvvati: $P_{total}=3200+1600$, $P_{total}=4800$ kW. Agar tizim sutkada 24 soat ishlasa, energiya sarfi: $E=P \times t$, $E=4800 \times 24$, $E=115200$ kWh. Demak tizimning sutkalik elektr energiya sarfi **115 200 kWh** ni tashkil etadi.

Bellman usuli asosida optimallashtirish natijalari

Nasos stansiyasining ishlash jarayonini optimallashtirish uchun Dynamic Programming usuli qo'llanildi[1]. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan.

1-jadval

Kun davomida suv talabining o'zgarishi:

vaqt oralig'i	suv talabi (m ³ /s)
0–6 soat	0.4
6–12 soat	0.8
12–18 soat	1.0
18–24 soat	0.6

2-jadval

Optimal nasos sonining aniqlanishi:

vaqt	nasoslar soni	energiya sarfi
0–6	1	4800 kWh
6–12	2	9600 kWh
12–18	3	14400 kWh
18–24	2	9600 kWh

Kunlik optimal energiya sarfi: $E=38400$ kWh

Agar barcha nasoslar doimiy ishlasa: $E=76800$ kWh

Demak optimallashtirish natijasida energiya sarfi deyarli **50% ga kamayadi.**

Natijalar tahlili

Olingan hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki:

- nasos stansiyalarining energiya sarfi yuqori bo'lib, sutkasiga 115 200 kWh ni tashkil etadi;
- gidravlik yo'qotishlar energiya sarfining sezilarli qismini tashkil qiladi;
- optimallashtirish usullarini qo'llash orqali energiya sarfini 20–50% gacha kamaytirish mumkin.

Muhokama

Mazkur tadqiqot irrigatsiya tizimlarida ishlatiladigan nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasiga bag'ishlandi. Irrigatsiya tizimlari qishloq xo'jaligida suv resurslarini samarali taqsimlashda muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, Markaziy Osiyo davlatlarida sug'orish tizimlari katta energiya sarfini talab qiladi. Shu sababli nasos stansiyalarining optimal ishlash rejimini aniqlash muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Tadqiqot davomida ikki bosqichli nasos stansiyasi tizimi matematik modellashirish asosida tahlil qilindi. Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos tizimining asosiy energiya sarfi suvni ko'tarish balandligi hamda quvur liniyalaridagi gidravlik yo'qotishlar bilan bog'liq. Ayniqsa, quvurlarning

uzunligi katta bo'lgan hollarda ishqalanish natijasida yuzaga keladigan bosim yo'qotishlari sezilarli darajada oshadi.

Nasos tizimining ishlash samaradorligini oshirish uchun optimal boshqaruv usullaridan foydalanish zarur. Ushbu tadqiqotda optimallashtirish uchun ikki muhim matematik nazariya qo'llanildi:

- Dynamic Programming
- Pontryagin Maximum Principle

Birinchi usul — dinamik dasturlash usuli bo'lib, u ko'p bosqichli boshqaruv tizimlarida optimal qarorlarni aniqlash imkonini beradi. Ushbu nazariya Richard Bellman tomonidan ishlab chiqilgan. Dinamik dasturlash prinsipi asosida nasoslarning ishlash rejimini vaqt bo'yicha optimallashtirish mumkin.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, suv sarfi kun davomida o'zgarib turadi. Agar barcha nasoslar doimiy ishlasa, energiya sarfi juda yuqori bo'ladi. Biroq suv talabiga mos ravishda nasoslar sonini boshqarish orqali energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Ikkinchi usul — optimal boshqaruv nazariyasiga asoslangan maksimal prinsip bo'lib, u L. Pontryagin tomonidan ishlab chiqilgan [9]. Ushbu prinsip murakkab dinamik tizimlarda optimal boshqaruv funksiyasini aniqlash imkonini beradi. Nasos stansiyalarida bu usul yordamida energiya sarfini minimallashtiruvchi optimal ishlash rejimi aniqlanadi.

Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, nasos tizimini optimallashtirish orqali elektr energiya sarfini 20–50% gacha kamaytirish mumkin. Bu esa irrigatsiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Shuningdek, tadqiqot davomida nasos tizimining texnik modernizatsiyasi ham muhim omil ekanligi aniqlanildi. Masalan:

- chastota boshqaruv qurilmalari o'rnatish
- avtomatik boshqaruv tizimlari
- suv sathi sensorlari
- masofaviy monitoring tizimlari

Ushbu texnologiyalar nasos stansiyalarining ishlashini yanada samarali qiladi.

4. Xulosa

Mazkur tadqiqot irrigatsiya nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalasini matematik modellashirish asosida tahlil qilishga bag'ishlandi. Tadqiqot davomida nasos stansiyalarining gidravlik va energetik parametrlari o'rganildi hamda optimal boshqaruv usullari qo'llanildi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar chiqarildi: Irrigatsiya tizimlarida nasos stansiyalari katta miqdorda elektr energiya sarflaydi. O'rganilgan tizimda sutkalik energiya sarfi 115000 kWh dan ortiqni tashkil etadi. Nasos tizimining energiya sarfi asosan suvni ko'tarish balandligi hamda quvur liniyalaridagi gidravlik yo'qotishlarga bog'liq. Matematik modellashirish nasos tizimining ishlash jarayonini aniq tahlil qilish imkonini beradi. Dinamik optimallashtirish usullari yordamida nasoslarning optimal ishlash rejimini aniqlash mumkin. Dinamik dasturlash algoritmi asosida nasos tizimini boshqarish orqali energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Optimal boshqaruv nazariyasiga asoslangan maksimal prinsip nasos tizimining energiya sarfini minimallashtirish imkonini beradi. Zamonaviy boshqaruv texnologiyalarini joriy etish irrigatsiya tizimlarining samaradorligini oshiradi.



Umuman olganda, matematik optimallashtirish usullarini irrigatsiya nasos stansiyalarida qo'llash katta iqtisodiy va texnik samaradorlik beradi. Ushbu tadqiqot natijalari irrigatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish hamda energiya sarfini kamaytirish bo'yicha muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Bellman, R. (1957). Dynamic Programming. Princeton University Press.
- [2] Pontryagin, L. S., Boltyanskii, V. G., Gamkrelidze, R. V., & Mishchenko, E. F. (1962). The Mathematical Theory of Optimal Processes. Interscience Publishers.
- [3] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Education.
- [4] Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2008). Pump Handbook. McGraw-Hill.
- [5] White, F. M. (2016). Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education.
- [6] Streeter, V. L., & Wylie, E. B. (1998). Fluid Mechanics. McGraw-Hill.
- [7] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.

[8] Chaudhry, M. H. (2014). Applied Hydraulic Transients. Springer.

[9] Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). Sprinkler and Trickle Irrigation. Springer.

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

Gulyamov Javlon
Nurullayevich / Jaylon
Gulyamov
Toshkent davlat transport universiteti
"Transportda axborot tizimlari
vatexnologiyalari" kafedrası dotsenti,
t.f.f.d., (PhD), dotsent
E-mail:

javlonbek1207@gmail.com

Tel.: +998935461427

<https://orcid.org/0000-0003-1984-9111>

Toshmamatov Husniddin
Hoshimjon o'g'li /
Husniddin
Toshmamatov
Toshkent davlat transport universiteti
"Transportda axborot tizimlari va
texnologiyalari" kafedrası tayanch
doktaranti
E-mail:

husniddintoshmamatov1017@gmail.com

[om](mailto:husniddintoshmamatov1017@gmail.com)

Tel.: +998772121710



An improved method for increasing the capacity of branched optical communication networks based on transfer to a single-fiber mode

R.R. Kiyamov¹ ^a

¹Kasbi District Technicum No. 5, Kashkadarya, Uzbekistan

Abstract: This article examines the shortage of available optical fibers in existing fiber-optic transmission lines. It analyzes current methods for increasing the capacity of branched optical communication networks, including WDM, OFDM, SDM, coherent reception, and digital signal processing technologies. An improved method for increasing capacity by converting existing dual-fiber transmission systems to single-fiber operation using optical Y-splitters is proposed. A model for estimating the energy balance and signal-to-noise ratio, taking into account additional losses and noise, is developed. The obtained results demonstrate the possibility of effectively increasing network capacity without constructing new fiber-optic lines or implementing expensive wavelength-division multiplexing technologies.

Keywords: fiber-optic communication lines, PON, capacity, Y-splitter, single-fiber transmission, signal-to-noise ratio, BER

Совершенствованный метод повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи на основе перевода в одноволоконный режим

Киямов Р.Р.¹ ^a

¹Техникум № 5 Касбинского района, Кашкадаря, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматривается проблема дефицита свободных оптических волокон в существующих волоконно-оптических линиях передачи. Проведён анализ современных методов повышения пропускной способности разветвлённых оптических сетей связи, включая технологии WDM, OFDM, SDM, когерентного приёма и цифровой обработки сигналов. Предложен усовершенствованный метод повышения пропускной способности путём перевода действующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с использованием оптических Y-разветвителей. Разработана модель оценки энергетического баланса и отношения сигнал/шум с учётом дополнительных потерь и шумов. Полученные результаты показывают возможность эффективного увеличения пропускной способности сети без строительства новых волоконно-оптических линий и внедрения дорогостоящих технологий спектрального уплотнения.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, PON, пропускная способность, Y-разветвитель, одноволоконная передача, отношение сигнал/шум, BER

1. Введение

Рост объёмов передаваемого трафика и увеличение числа абонентов предъявляют новые требования к пропускной способности волоконно-оптических сетей связи [1–3]. Особенно остро данная проблема проявляется в сетях доступа и разветвлённых оптических сетях (PON), где существующая инфраструктура была построена для существенно меньших нагрузок [4–7].

Традиционные методы увеличения пропускной способности основаны на использовании технологий WDM/DWDM, OFDM, когерентного приёма и пространственного мультиплексирования [8–16].

Несмотря на высокую эффективность, их внедрение сопровождается значительными капитальными затратами и усложнением оборудования [11–16].

В связи с этим актуальной задачей является разработка методов повышения пропускной способности существующих сетей без прокладки дополнительных оптических волокон и без существенной модернизации аппаратной части.

Целью исследования является разработка усовершенствованного метода повышения пропускной способности разветвлённых оптических сетей связи на основе перевода существующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с применением оптических Y-разветвителей.

^a <https://orcid.org/0009-0008-7510-875X>



2. Методика исследования

Исходные предположения

Исследование выполнено для одномодового оптического волокна стандарта G.652 при длине волны 1310 нм [4].

Приняты следующие параметры:

мощность передатчика $P_{tx} = 0$ дБм;

коэффициент деления Y-разветвителя 1:2;

дополнительные потери разветвителя 3,5–4 дБ;

переходное затухание 50–55 дБ.

Энергетическая модель

Энергетический баланс линии определяется выражением

$$P_{tx} - (P_{fiber} + P_{splitter} + P_Y) \geq P_{rx, \min} \quad (1)$$

где:

P_{tx} — мощность передатчика;

P_{fibe} — потери в волокне;

$P_{splitter}$ — потери сплиттера;

P_Y — дополнительные потери Y-разветвителей;

$P_{rx, \min}$ — чувствительность приёмника.

Модель шумов

Общая мощность шумов:

$$N_{tot} = N_{th} + N_{sh} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (2)$$

где:

N_{th} — тепловой шум фотоприёмника;

N_{sh} — дробовой (shot) шум фототока;

N_{cross} — переходные помехи Y-разветвителя;

N_{Fr} — шумы, обусловленные френелевскими отражениями;

N_{Ray} — шумы обратного рэлеевского рассеяния.

Тогда отдельные составляющие могут быть представлены следующим образом:

1. Переходные помехи Y-разветвителя

$$N_{cross} = P_s \cdot K_{cross} \quad (3)$$

где P_s — мощность полезного сигнала,

K_{cross} — коэффициент переходных помех разветвителя.

2. Шумы Френелевских отражений

$$N_{Fr} = P_s \cdot RF \cdot e^{-2\alpha L} \quad (4)$$

где:

RF — коэффициент френелевского отражения;

α — коэффициент затухания волокна, Нп/км;

L — длина линии, км.

Для границы стекло-воздух:

$$RF = [(n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)]^2 \quad (5)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления сред.

3. Шумы обратного рэлеевского рассеяния

$$N_{Ray} = P_s \cdot \eta_{Ray} (1 - e^{-2\alpha L}) \quad (6)$$

где η_{Ray} — коэффициент обратного рэлеевского рассеяния.

4. Тепловой шум

$$N_{th} = 4kTB \quad (7)$$

где:

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура;

B — полоса приёма.

5. Дробовой шум

$$N_{sh} = 2qIpB \quad (8)$$

где:

$q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона;

I_p — фототок;

B — полоса пропускания.

Отношение сигнал/шум определяется как

$$SNR = \frac{P_s}{N_{tot}} \quad (9)$$

или в децибелах

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{N_{tot}} \quad (10)$$

$$N_{tot} = N_{th} + N_{sh} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (11)$$

В одноволоконном режиме учитываются следующие шумовые составляющие:

$$N_{tot} = N_{own} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (12)$$

где:

N_{own} — собственные шумы системы;

N_{cross} — переходные помехи Y-разветвителя;

N_{Fr} — шумы Френелевских отражений;

N_{Ray} — шумы обратного рэлеевского рассеяния.

Качество передачи данных оценивается по отношению сигнал/шум, которое для j-го абонента определяется как

$$SNR_j = \frac{P_{r,j}}{N_0 B} \quad (13)$$

где N_0 — спектральная плотность шумов приёмника, B — полоса пропускания

Алгоритм оценки возможности перехода в одноволоконный режим

Определение параметров существующей ВОЛП.

Расчёт дополнительных потерь Y-разветвителей.

Определение уровня шумов.

Расчёт отношения сигнал/шум.

Оценка коэффициента битовых ошибок BER.

Проверка выполнения требований качества передачи. Принятие решения о переводе линии в одноволоконный режим.

Проведён сравнительный анализ существующих методов повышения пропускной способности [8–16].

Таблица 1

Сравнительный анализ повышения пропускной способности и основных недостатков различных методов передачи

Метод	Рост пропускной	Основные недостатки
WDM/DWDM	Высокий	Нелинейности, высокая
OFDM	Высокий	Сложность DSP
Coherent	Очень высокий	Технологическая сложность
SDM	Очень высокий	Технологическая сложность
Предлагаемый метод	Средний–высокий	Дополнительные потери 3–4 дБ

Результаты расчётов показывают, что снижение энергетического запаса вследствие использования Y-разветвителей компенсируется:

повышенной чувствительностью современных приёмников;

использованием FEC-кодирования;

оптимизацией коэффициента разветвления;

сокращением количества соединений.

Установлено, что перевод существующих



двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим позволяет эффективно использовать резервные ресурсы сети и увеличить суммарную пропускную способность без строительства новых линий связи.

Получено, что применение Y-разветвителей приводит к: дополнительным потерям мощности сигнала;

- появлению переходных шумов;
- возникновению шумов Френелевских отражений;
- появлению шумов обратного Рэлеевского рассеяния;
- снижению отношения сигнал/шум SNR.

При этом расчётная модель позволяет определить предельную длину регенерационного участка, при которой сохраняется нормативное значение BER.

Моделирование показало, что после 10–12 км влияние Рэлеевского рассеяния практически насыщается и мало зависит от скорости передачи.

Установлено, что перевод ОСП в одноволоконный режим позволяет увеличить суммарную пропускную способность ВОЛП примерно в 1,8–2 раза за счёт высвобождения волокон для организации новых каналов связи и сетей ШПД.

Практическое внедрение в сетях ООО UMS позволило повысить пропускную способность информационных потоков в 1,3 раза, а в сети АК «Узбектелеком» — в 1,24 раза [20].

Результаты моделирования показали, что применение Y-разветвителей сопровождается снижением отношения сигнал/шум вследствие дополнительных потерь мощности и появления дополнительных шумовых составляющих. Однако даже при длине ЭКУ до 12 км обеспечивается сохранение допустимого уровня BER и стабильность передачи цифрового потока.

Сравнительный анализ показал, что предложенный метод обеспечивает увеличение пропускной способности сети до 1,8–2 раз при минимальных капитальных затратах по сравнению со строительством новой ВОЛП или внедрением технологии WDM. Особенно высокая эффективность достигается в сельских и региональных сетях связи при дефиците свободных оптических волокон.

В отличие от технологий DWDM, OFDM и когерентного приёма предлагаемый метод не требует существенной модернизации оборудования и может быть внедрён на существующей инфраструктуре [1–3, 8–16].

Основным ограничивающим фактором является ухудшение энергетического баланса вследствие дополнительных потерь в Y-разветвителях. Однако проведённый анализ показывает, что при правильном выборе параметров сети данные потери не приводят к критическому ухудшению качества передачи информации.

Экономическая эффективность предлагаемого решения особенно заметна для сельских и удалённых районов, где строительство новых ВОЛП связано со значительными капитальными затратами.

Таблица 2

Исходные параметры моделирования	
Параметр	Значение
Дополнительные потери Y-разветвителя	3,5–4 дБ

Суммарные дополнительные потери	до 8 дБ
Переходное затухание	50–55 дБ
Коэффициент обратного отражения RL	–30...–60 дБ
Скорость передачи	155–2488 Мбит/с
Исследуемая среда	Одномодовое волокно G.652

Таблица 3

Алгоритм моделирования разветвлённой сети

Этап	Содержание
1	Задание топологии сети
2	Ввод параметров волокна и оборудования
3	Расчёт энергетического баланса двухволоконного режима
4	Определение дополнительных потерь и шумов
5	Расчёт SNR ₁ и SNR ₂
6	Определение эквивалентного увеличения затухания
7	Расчёт допустимой длины ЭКУ
8	Анализ возможности перевода в одноволоконный режим

На рисунок 1 приведена структурная схема алгоритма моделирования разветвлённой сети



Рис. 1. Структурная схема алгоритма моделирования разветвлённой сети

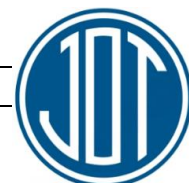


Таблица 4

Сравнительный анализ методов повышения пропускной способности ВОЛП

Критерий	Новая ВОЛП	Повышение скорости	Одноволочный режим	Одноволочный режим с Y-разветвлениями
Использование существующей инфраструктуры	Нет	Частично	Да	Полностью
CAPEX	Очень высокий	Высокий	Средний	Минимальный
OPEX	Высокий	Средний	Средний	Низкий
Сложность внедрения	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Применимость в сельских сетях	Низкая	Низкая	Ограниченная	Высокая
Высвобождение волокон	Нет	Нет	Нет	Да

Таблица 5

Техническое сравнение методов
Таблица данных зависимости отношения сигнал/шум от длины ЭКУ

Показатель	Двухволочный режим	Одноволочный режим с Y-разветвлениями	Новая ВОЛП	WDM
Использование волокон	2	1	≥ 2	1
SNR	Максимальный	Снижается на Δ SNR	Максимальный	Высокий
BER	В норме	В норме при допустимой длине	В норме	В норме
Замена оборудования	Нет	Нет	Да	Да
Капитальные затраты	Отсутствуют	Низкие	Очень высокие	Высокие

Таблица 6

Таблица данных зависимости отношения сигнал/шум от длины ЭКУ

Длина ЭКУ, км	Двухволочный режим, дБ	Одноволочный режим с Y-разветвлениями, дБ
2	31	27
4	29	25
6	27	23
8	25	21
10	23	19
12	21	17
14	19	15
16	17	13

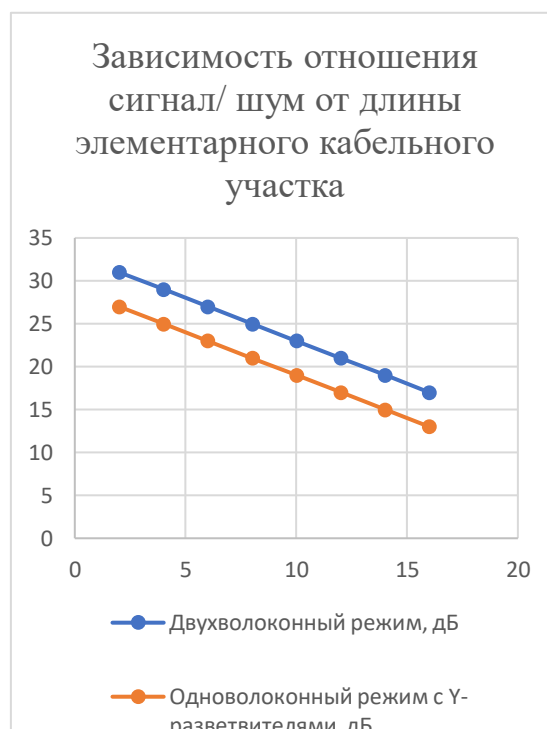


Рис. 2. Зависимость SNR от длины ЭКУ

Таблица 7

Таблица данных зависимости BER от длины ЭКУ

Длина ЭКУ, км	BER (двухволочный)	BER (одноволочный)
2	1×10^{-12}	3×10^{-12}
4	2×10^{-12}	6×10^{-12}
6	4×10^{-12}	1×10^{-11}
8	8×10^{-12}	4×10^{-11}
10	2×10^{-11}	8×10^{-11}
12	5×10^{-11}	1×10^{-10}
14	1×10^{-10}	3×10^{-10}
16	3×10^{-10}	8×10^{-10}

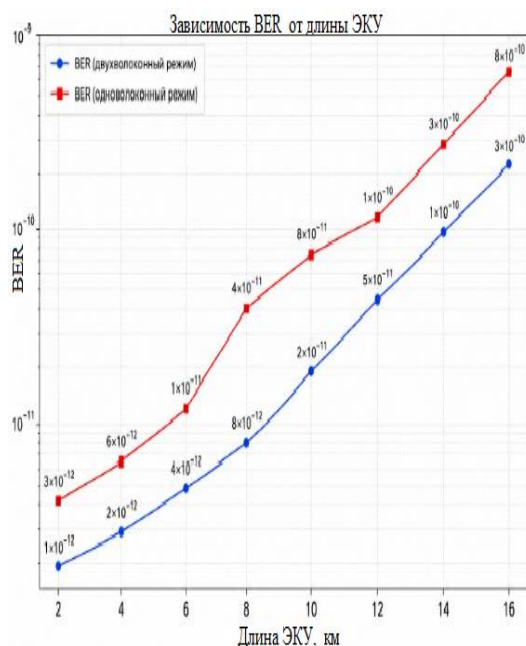


Рис. 3. Зависимость BER от длины ЭКУ

На рисунке показан зависимость вероятности битовой ошибки BER от длины ЭКУ для различных режимов передачи.

Таблица данных вероятности битовой ошибки BER от длины ЭКУ для различных режимов передачи.

Таблица 8
Значения вероятности битовой ошибки (BER) при различной длине ЭКУ для разных режимов передачи

Метод	Относительный CAPEX, %
Использование существующей	5
Одноволоконный режим с Y-	10
Повышение скорости передачи	45
WDM	65
Строительство новой ВОЛП	100

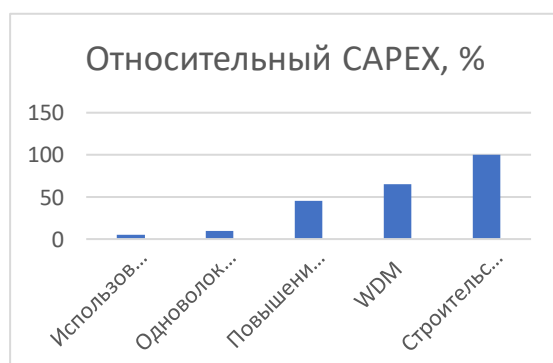


Рис. 4. Сравнение CAPEX различных методов

На рисунке 4 показана сравнительная оценка капитальных затрат методов повышения пропускной способности ВОЛП.

Таблица 9

Таблица данных

Метод	Коэффициент увеличения пропускной способности
Базовая сеть	1,0
Повышение скорости передачи	1,3
WDM	1,6
Одноволоконный режим с Y-разветвителями	1,8
Комбинированный режим (Y + WDM)	2,2



Рис. 5. Повышение пропускной способности различных методов

3. Заключение

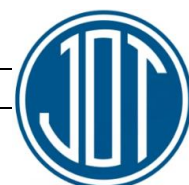
Разработан усовершенствованный метод повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи на основе перевода существующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с использованием оптических Y-разветвителей.

Разработаны математическая модель энергетического баланса и алгоритм оценки возможности модернизации существующих линий связи.

Таким образом совершенствован метод повышения пропускной способности с использованием Y-разветвителей в разветвленных оптических сетях связи на основе определение специфических особенностей и применение Y-разветвителей.

Совершенствована устройства повышения пропускной способности волоконно оптических сетей связи и обеспечена возможность перевода с двухволоконного режима на одноволоконный режим работы региональных оптических сетей связи.

Разработан метод определения возможности применения устройств повышения пропускной способности региональных волоконно-оптических сетей связи, в результате чего были определены



регенерационные участки где можно применить устройств повышения пропускной способности.

Повышен пропускной способност выделенного оптического волокна с применением Y- разветвителей и переведен с двухволоконного режима работы на одноволоконный режим в результате чего достигнут к появлению дополнительного оптического волокна.

В чем и заключается научная новизна исследования

Результаты исследования показывают возможность повышения эффективности использования волоконно-оптической инфраструктуры без строительства новых линий и без применения дорогостоящих технологий спектрального уплотнения.

Предложенный метод может быть использован при модернизации сетей доступа PON и региональных волоконно-оптических сетей связи.

Использованная литература / References

- [1] Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems. Wiley.
- [2] Keiser G. Optical Fiber Communications.
- [3] Senior J.M., Jamro M.Y. Optical Fiber Communications.
- [4] ITU-T G.652.
- [5] ITU-T G.984.
- [6] ITU-T G.9807.1.
- [7] ITU-T G.989.
- [8] Mukherjee B. Optical WDM Networks.
- [9] Saleh B., Teich M. Fundamentals of Photonics.

[10] Kazovsky L. Optical Fiber Communication Systems.

[11] Winzer P.J. Scaling Optical Networks.

[12] Essiambre R.J. Capacity Limits of Optical Fiber Networks.

[13] Cartledge J. Digital Signal Processing for Optical Communications.

[14] Kaminow I. Optical Fiber Telecommunications.

[15] Ellis A.D. Optical Capacity Limits.

[16] Cisco Annual Internet Report.

[17] FTTH Council Global Report.

[18] Ким А.А., Кузьмин В.В. Волоконно-оптические линии связи.

[19] Агравал Г. Волоконно-оптическая связь. Принципы и практика.

[20] Киямов Р.Р. Совершенствование метода повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи.

Информация об авторах/ Information about the authors

Киямов	Касбинский	техникум	№5,
Рахматулло /	E-mail:		
Rakhmatullo	raxmatullo.kiyamov@mail.ru		
Kiyamov	Tel.: +998907200534		
	https://orcid.org/0009-0008-7510-875X		



Criteria for evaluating the efficiency of freight transportation by road transport and approaches to their optimization

A.Kh. Muratov¹^a

¹Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez, Uzbekistan

Abstract:

This article comprehensively analyzes the system of technical-operational, economic, and logistic criteria used to assess the efficiency of freight transport processes in the road transport sector. Within the scope of the study, an expanded mathematical model was developed to express the relationship between fleet productivity and the prime cost per 1 ton-kilometer (1 tkm) of cargo turnover. A sensitivity analysis of variables was conducted using the examples of MAN TGS and ISUZU FVR trucks, which are widely utilized under local conditions.

The impact of hot climate conditions and organizational-logistic deficiencies on transport productivity was empirically demonstrated through quantitative calculations. The results indicated that a 10% improvement in the mileage utilization coefficient (β) reduces the prime cost by an average of 10.8%, whereas a decrease in technical speed due to thermal stress increases the cost by up to 3.5-5.2%. Conclusively, digital and technical-operational recommendations were formulated to enhance the efficiency of road freight transportation.

Keywords:

road transport, freight transportation, efficiency criteria, prime cost, logistics, rolling stock, optimization, productivity, sensitivity analysis, climate factor

Avtomobil transportida yuk tashish samaradorlik mezonlari va ularni optimallashtirish yo'llari

Muratov A.X.¹^a

¹Termiz davlat muhandislik va agroteknologiyalar universiteti, Termiz, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada avtotransport tarmog'ida yuk tashish jarayonlarining samaradorligini baholashda qo'llaniladigan texnik-ekspluatatsion, iqtisodiy va logistik mezonlar tizimi kompleks tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida harakat tarkibining unumdorligi va 1 tn·km yuk aylanmasi tannarxi o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi kengaytirilgan matematik model ishlab chiqilgan. Mahalliy sharoitda keng qo'llaniladigan MAN TGS va ISUZU FVR yuk avtomobillari misolida omillarning sezuvchanlik tahlili (Sensitivity Analysis) o'tkazilgan.

Issiq iqlim sharoiti va tashkiliy-logistik kamchiliklarning transport unumdorligiga ta'siri empirik hisoblashlar orqali isbotlangan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, yo'ldan foydalanish koeffitsiyenti (β) 10% ga yaxshilanishi tannarxni o'rtacha 10,8% ga pasaytiradi, issiqlik yuklamasi tufayli texnik tezlikning pasayishi esa tannarxni 3,5-5,2% gacha oshirib yuboradi. Tadqiqot yakunida avtotransportda yuk tashish samaradorligini oshirish bo'yicha raqamli va texnik-ekspluatatsion tavsiyalar shakllantirilgan.

Kalit so'zlar:

avtotransport, yuk tashish, samaradorlik mezonlari, tannarx, logistika, harakat tarkibi, optimallashtirish, unumdorlik, sezuvchanlik tahlili, iqlim omili

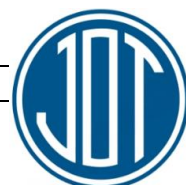
1. Kirish

Globalashuv sharoitida milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligini ta'minlash bevosita transport-logistika tizimining samaradorligiga bog'liqdir. Mahsulotlarni ishlab chiqaruvchidan yakuniy iste'molchiga yetkazib berish zanjirida avtotransport tarmog'i eng moslanuvchan va yuqori harakatchan (mobil) bo'g'in hisoblanadi. Bugungi kunda tovarlar yakuniy tannarxining o'rtacha 15 foizdan 25 foizgacha bo'lgan qismini aynan transport xarajatlari tashkil etmoqda. Shu sababli, avtotransportda yuk tashish tannarxini

pasaytirish va harakat tarkibi unumdorligini oshirish makroiqtisodiy ahamiyatga ega dolzarb masalalardan biridir.

Jahon miqyosida avtomobil transportining asosiy muammolaridan biri - yuk tashish samaradorligini oshirish, yuklarni iste'molchilarga o'z vaqtida va arzon narxda yetkazib berish avtotransport korxonalarining faoliyatini tubdan o'zgartirishni talab qilmoqda. Mamlakatimizda transport va transport kommunikatsiya sohasini rivojlantirish, yuk tashishning xavfsizligini ta'minlash, transport sohasidagi boshqaruv tizimini takomillashtirish hamda soha uchun malakali mutaxassislarni tayyorlashga

^a <https://orcid.org/0000-0002-4450-2892>



yo'naltirilgan keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilib borilmoqda.

Iqtisodiyotni rivojlantirishning zamonaviy tendensiyalari va amalga oshirilayotgan islohotlar respublikaning geografik joylashuvini inobatga olgan holda transport xizmatlarining sifatli va ommabopligini ta'minlashga yo'naltirilgan yagona transport siyosatini shakllantirishni talab etadi. Respublikaning investitsiyaviy jozibadorligini va eksport salohiyatini oshirish, transport kommunikatsiyalarini strategik rivojlantirishni ta'minlash muhim vazifalardandir. Xususan, O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishga oid davlat dasturlarida hududlarda yuklar shakllanishining asosiy nuqtalarini hisobga olgan holda transport-logistika markazlari tarmog'ini tashkil etish va yuk tashish xarajatlarini 30 foizgacha kamaytirish maqsad qilib qo'yilgan [1].

Adabiyotlar tahlili

Sanoatning o'sib borayotgan ehtiyojlarini qondirish uchun iqtisodiy jihatdan samarali, energiya tejamkor va ishonchli yuk tashish tizimi muhim ahamiyatga ega [2, 3].

Yuk tashishni optimallashtirish avtomobil va temir yo'l transportini o'z ichiga olgan transport tarmog'ini rivojlantirish muammosini ham hal qilish kerak [4, 5].

Qurilish yuklarni tashishni tashkil etish, yuk jo'natuvchi va yuk oluvchi punktlar ishini o'zaro muvofiqlashtirish hamda tashish samaradorligini oshirish yo'llari [6] keltirilgan.

Yuk tashish yo'nalishining yuk jo'natish yoki qabul qilish manzillarida yuz beradigan jarayonlarni tizimli tahlil qilish, ularning tarkibi aniqlanib, avtomobilning unumsiz turib qolish vaqtini bartaraf etish va transport vositasining ish ko'rsatkichlarining shakllanishini talab etilmoqda [7, 8].

Demak, respublikamizda yuk tashish hajmi ortib borishi kuzatiladi. Bu esa o'z navbatida transport tarmog'i va transport-logistika tizimiga bo'lgan talabni oshiradi. Transport tizimini rivojlantirishning optimal rejasi iqtisodiyotning va aholining tashishga bo'lgan ehtiyojlarini to'liq qondirishi, shu bilan birga transport vositalari va tarmoqlaridan foydalanish hamda ularni rivojlantirishga oid barcha xarajatlarni minimallashtirishi lozim. Mazkur masalaning mezonni ishlab chiqarish kuchlarini optimal rivojlantirish rejasini olishga ta'sir etuvchi hamma aspektlarni o'zida aks ettirishi lozim. Transport tizimi uchun bular quyidagilar hisoblanadi:

- har bir transport turi bo'yicha tashishni amalga oshirishda bevosita sarflanuvchi jamoa mehnati xarajatining qiymati;
- ayrim transport turlarining aholi mehnat sharoiti va turmush darajasiga ta'siri;
- har xil transport turlarida tashishdagi kamaygan (yo'qotilgan) yuk miqdorlari;
- turli variantlardan lozim bo'lgan ishchi kuchi, yonilg'i va metallarga bo'lgan talab;
- materiallar, jihozlar va boshqa qimmatli resurslarning tanqisligi hamda ushbu resurslarni boshqa korxona va tarmoqlardan olishdagi qo'shimcha xarajatlari;
- yuklarni yetkazish tezligi va boshqa sifat ko'rsatkichlari.

Biroq, ushbu ko'rsatkichlarni bir vaqtning o'zida yagona o'lchov birligida baholash imkoniyati mavjud emas. Shuning uchun tadqiqotlarda mezonni ma'lum bir maqsadli doirada tanlashga to'g'ri keladi. Bunda, bir tomondan tashish bo'yicha ishlab chiqarish kuchlari manfaatlarini maksimal darajada aks ettirish, boshqa tomondan esa

transport tizimidan samarali foydalanish imkoniyatlarini ko'zda tutish lozim bo'ladi.

Avtotransport tarmog'ida yuk tashish samaradorligi ko'p faktorli va ko'p mezonli tizim bo'lib, u nafaqat ichki tashkiliy omillarga, balki tashqi muhit sharoitlariga ham tizimli bog'liqdir. Xususan, O'zbekistonning janubiy hududlari o'zining keskin kontinental iqlimi, yoz faslidagi yuqori havo harorati (+45°C dan yuqori) va uzoq masofali xalqaro transport yo'laklari mavjudligi bilan ajralib turadi. Bunday sharoitda yuk tashish jarayonini boshqarish an'anaviy usullardan farqli yondashuvni - texnik va tashkiliy mezonlarni raqamli texnologiyalar asosida integratsiyalashni talab etadi.

Transport vositalarining texnik tezligi (V_t) issiqlik yuklamalari ta'sirida sustlashishi va yo'nalishlarda bo'sh yurishlar (koeffitsient β ning pastligi) oqibatida unumdorlikning pasayishi kuzatilmoqda. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun yuk tashish samaradorligi mezonlarini matematik modellashtrish va ularning o'zaro ta'sir darajasini empirik asoslash zarur.

Transport tizimlari samaradorligini oshirish va harakat tarkibidan foydalanishni optimallashtirish muammolari uzoq yillardan buyon mahalliy va xorijlik olimlar tomonidan tadqiq etib kelinmoqda.

Yuk tashish jarayonlarini matematik modellashtrish va marshrutlarni optimallashtirish (Vehicle Routing Problem - VRP) masalalari Dantsig va Ramser (Dantzig & Ramser) tadqiqotlaridan boshlanib, bugungi kunda sun'iy intellekt va raqamli platformalar algoritmlarigacha rivojlandi [9, 11]. Xorijlik olimlardan N.Kristofides va boshqalar o'z ilmiy ishlarida avtomobillarning yo'ldan foydalanish koeffitsiyentini (β) oshirish orqali tashish tannarxini 18–20% gacha kamaytirish mumkinligini matematik isbotlaganlar [10].

Shu bilan birga, MDH (Mustaqil davlatlar hamdo'stligi) davlatlari va mahalliy olimlar o'z tadqiqotlarida avtomobillarning texnik-ekspluatatsion ko'rsatkichlarini mintaqaviy iqlim sharoitlariga moslashtirish masalalariga alohida e'tibor qaratganlar.

Ushbu maqolada avtotransport tarmog'ida yuk tashish jarayonlarining samaradorligini baholashda qo'llaniladigan quyidagi asosiy mezonlar tahlil qilinadi:

Tonna-kilometrlarda bajarilgan ish hajmi mezonni - juda qulay ko'rsatkich hisoblanadi, chunki har bir tarmoqdagi "masofa"ni aniqlash mumkin va u istalgan yo'nalish uchun aniq. Ammo, bu mezon joriy rejalashtirishda foydalanish uchun transport tarmog'ining to'g'ri va teskari yo'nalishlarida ishlaydigan bir turdagi transport vositalarini tashish tannarx ko'rsatkichlari bir xil bo'lganda yoki kam farq qilganda qo'llanilishi mumkin. U katta shaharlarda tashishni optimal marshrutlashtirish masalalarini yechishda, nolinchi masofalarni rejalashtirishda va avtokorxonalar o'rtasida mijozlarning taqsimlanishida muvaffaqiyatli qo'llanilishi mumkin.

Tariflar (tashish bahosi) mezonni - yuk jo'natuvchi va yuk qabul qiluvchi korxonalarining transport xarajatlarini minimallashtirishga imkon beradi. Bu mezon qo'llanilganda korxonalarining rentabelligi nuqtayi nazaridan tashishning optimal sxemalarini tuzish mumkin bo'ladi.

Transport vositalarining ekspluatatsion xarajatlari (tashish tannarxi) minimumi mezonni - bevosita tashishni amalga oshirayotgan transport korxonalarining xarajatlarini xarakterlaydi. Mazkur mezon har xil transport turlarida tashish tejamkorligini aniqroq aks ettiradi va turli yuklarni

tashish uchun qaysi harakat tarkibidan foydalanish maqsadga muvofiqligini asoslaydi.

Yukni etkazishga sarflanayotgan vaqtning minimum mezonini ("vaqt" mezonini) - Asosan tashish jarayonida berilgan hajmdagi yuklarni qisqa vaqt ichida yetkazish zarurati tug'ilganda (ayniqsa tez buziluvchi mahsulotlarni tashishda) asosiy mezon hisoblanadi. Vaqt mezonini bo'yicha masalani yechishda yuklarni ortish va tushirish vaqti ham muhim ahamiyatga ega. Materiallar va tayyor mahsulotlarni aynan vaqtda yetkazib berish (Just-in-Time) korxonalar omborlaridagi zaxira miqdorini kamaytirish imkonini beradi va butun logistik tizimning samaradorligini ta'minlaydi.

Keskin kontinental iqlim va yuqori harorat sharoitida harakat tarkibi unumdorligi (Q_{kun}) pasayishining 1 tonna-kilometr yuk aylanmasi tannarxiga (C) ko'rsatadigan ta'sirini yaxlit bir tizim sifatida matematik baholash ushbu maqolaning asosiy ilmiy yangiligini belgilaydi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Avtotransport korxonalarining yuk tashish faoliyati samaradorligini baholashda eng asosiy integral mezon - 1 tonna-kilometr (1 tkm) yuk aylanmasiga to'g'ri keladigan tannarx (C) hisoblanadi. Tannarx va transport unumdorligi o'rtasidagi bog'liqlikni quyidagi funksiya ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$C = \frac{S_{uzg} \cdot L_{umum} + S_{doim} \cdot T_{ish}}{Q_{kun}} \quad \text{so'm/tn-km} \quad (1)$$

bu yerda: S_{uzg} -avtomobilning 1 km yurishiga to'g'ri keladigan o'zgaruvchan xarajatlar (yonilg'i, moylash materiallari, shinalar va joriy ta'mirlash), so'm/km;

L_{umum} -avtomobilning umumiy bosib o'tgan yo'li, km; S_{doim} -vaqtga bog'liq bo'lgan doimiy xarajatlar (haydovchi ish haqi, amortizatsiya, ma'muriy xarajatlar), so'm/soat;

T_{ish} -avtomobilning yo'nalishdagi umumiy ish vaqti, soat;

Q_{kun} -avtomobilning mazkur vaqt oralig'idagi unumdorligi (yuk aylanmasi), tkm.

Transport vositasining bir soatlik unumdorligi (Q_{kun}) harakat tarkibining konstruktiv xususiyatlari va yo'l-tashkiliy omillarga bevosita bog'liq. Uni aniqlash uchun quyidagi matematik modeldan foydalanamiz:

$$Q_{kun} = \frac{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_t}{1 + \frac{\beta \cdot V_t \cdot t_{o-t}}{l_{yuk}}} \quad (2)$$

bu yerda: q - avtomobilning yuk ko'tarish qobiliyati, t;

γ - yuk ko'tarishdan foydalanish koeffitsiyenti;

β - bosib o'tilgan yo'ldan foydalanish koeffitsiyenti;

V_t - texnik tezlik, km/soat;

t_{o-t} - har bir qatnovdagi yuklash-tushirish vaqti, soat;

l_{yuk} - yuk bilan yurilgan masofa, km.

3. Tahlil va natijalar

Modelning amaliy ishlashini tekshirish va baholash mezonlarini belgilash uchun mahalliy sharoitda keng qo'llaniladigan ikki xil toifadagi transport vositalarining ko'rsatkichlari tahlil qilindi. Hisoblashlar uchun boshlang'ich shart sifatida yuk bilan yurilgan masofa $l_{yuk}=50$ km qilib belgilandi (1-jadval).

1-jadval

Harakat tarkibining boshlang'ich texnik-ekspluatatsion ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich nomi va belgilanishi	MAN TGS	ISUZU FVR
Nominal yuk ko'tarish qobiliyati, q; tonna	24.0	8.0
Yukdan foydalanish koeffitsiyenti, γ	0.85	0.90
Yo'ldan foydalanish koeffitsiyenti, β	0.50	0.55
Texnik tezlik, V_t ; km/soat	60.0	65.0
Yuklash-tushirish vaqti, t_{o-t} ; soat	1.20	0.60

Boshlang'ich ma'lumotlar asosida soatlik unumdorlik quyidagicha aniqlandi:

MAN TGS unumdorligi:

$$Q_{kun}^{MAN} = \frac{24 \cdot 0.85 \cdot 0.5 \cdot 60}{1 + \frac{0.50 \cdot 60 \cdot 1.2}{50}} = \frac{612}{1.72} \approx 355,81 \text{ t.km/soat}$$

ISUZU FVR unumdorligi:

$$Q_{kun}^{ISUZU} = \frac{8 \cdot 0.9 \cdot 0.55 \cdot 65}{1 + \frac{0.55 \cdot 65 \cdot 0.6}{50}} = \frac{6257,412}{1.43} \approx 180,13 \text{ t.km/soat}$$

Amaliyotda tashqi muhit omillari (iqlim) va tashkiliy kamchiliklar (bo'sh qaytishlar) ushbu ko'rsatkichlarni o'zgartiradi. Quyidagi 2-jadvalda omillarning unumdorlik va tannarxga ta'siri sezuvchanlik tahlili (Sensitivity Analysis) orqali ko'rsatilgan (ish xarajatlari soatiga MAN uchun 450 000 so'm, ISUZU uchun 250 000 so'm deb olindi).

2-jadval

Omllarning o'zgarishiga qarab unumdorlik va tannarxning dinamikasi

Transp ort vositas i	Eksprimen t sharti	Unumdo rlik Q_{kun} (tkm/soa t)	1 tk m tanarx i C, (so'm)	Tanarx o'zgaris hi (%)
MAN TGS	Boshlang'ich holat	355.81	1264,7	0%
	Tezlik kamayganda ($V_t=45$ km/soat)	298,05	1308,51	+3,46%
	Marshrut optimallashtirish, $\beta=0.60$ bo'lganda	393,99	1142,16	-9,7%
ISUZU FVR	Boshlang'ich holat	180.13	1387,8	-
	Tezlik kamayganda ($V_t=50$ km/soat)	148.87	1477,8	+5,22%
	Marshrut optimallashtirish, $\beta=0.65$ bo'lganda	201,86	1253,34	-10,8%

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, yo'ldan foydalanish koeffitsiyentining (β) atigi 10% ga yaxshilanishi tannarxni



o'rtacha 10,8% ga pasaytiradi. Issiq iqlim sharoitida esa dvigatelning issiqlik yuklamasi ortishi hisobiga texnik tezlikning pasayishi tannarxni 3,5-5,2% ga oshirib yuboradi.

4. Xulosa

1. Avtotransport korxonalari faoliyatini baholashda eng ishonchli integral mezon bu - 1 tkm yuk aylanmasi tannarxi (C) hisoblanib, u texnik va logistik omillarni o'zida birlashtiradi.

2. Sezuvchanlik tahlili natijalariga ko'ra, yuk tashishda yo'ldan foydalanish koeffitsiyentini (β) oshirish tannarxni eng tez pasaytiruvchi omildir. β ning atigi 10% ga ortishi tannarxning 10,8% gacha arzonlashishini ta'minlaydi. Bu esa raqamli logistika platformalari orqali qaytish yo'nalishiga yuk topish tizimini rivojlantirishni talab etadi.

3. Keskin kontinental iqlim va yuqori harorat sharoitida harakatlanish texnik tezlikni (V_t) sustlashtiradi. Tezlikning pasayishi soatlik unumdorlikni keskin tushirib, tashish tannarxining 3,5% dan 5,2% gacha ortishiga sabab bo'ladi.

4. Bizning fikrimizcha, qabul qilingan mazkur ko'rsatkich ishlab chiqarishning optimumiga ko'proq darajada mos keladi. Ayni paytda, qo'shimcha xarajatlar o'zgarishining chiziqli xarakterda emasligini ham hisobga olish zarur. Shu tufayli optimallik mezonini sifatida differensial xarajatlar, ya'ni qo'shimcha keltirilgan xarajatlarning yuk oqimi o'sishiga nisbati qabul qilinishi maqsadga muvofiqdir.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli "Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

[2] Devendra Kumar Pathak, Ravi Shankar, Alok Choudhary. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 90, January 2021, 102663. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920308488>

[3] Жураев М.Н. Теоретические предпосылки применения комбинаторного метода дискретных решений задачи рационального распределения автотранспортных средств по радиальным маршрутам. Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза, 05 июня 2019 г. 21-26 с.

[4] Butaev Sh.A., Sidiqnazarov Q.M., Murodov A.S., Qo'ziev A.O'. Logistika (yetkazib berish zanjirida oqimlarni boshqarish). – Toshkent: Extremum-Press, 2012. – 580 b.

[5] Urokovich, K. A. ., & Dostmurodovich, S. O. . (2022). Issuing the Plan for the Development of the Automobile Road Network. INTERNATIONAL JOURNAL OF INCLUSIVE AND SUSTAINABLE EDUCATION, 1 (5), 195-201. Retrieved from <http://inter-publishing.com/index.php/IJISE/article/view/450>

[6] Kuziev A.U., Muratov A.Kh. Improving the method of delivery of construction cargo in auto transport. ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal Vol. 11, Issue 8, August 2021. pp.207-216. <https://indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:aca&volume=11&issue=8&article=038>

[7] Kuziev A.U., Muratov A.Kh. Application of Logistical Principles in the Development of Directions in the Region. The American Journal of Engineering and Technology. Volume-03 Issue-05. May 31, 2021. pp.143-149.

[8] Muratov A.X. Statement and Mathematical Model of the Problem of General Service in the Transportation of Cargo by Motor Vehicle. European Multidisciplinary Journal of Modern Science. 6, (May 2022), pp.288–291. <https://emjms.academicjournal.io/index.php/emjms/article/view/392>

[9] G.B. Dantzig and J. H. Ramser. The Truck Dispatching Problem. Management Science, 1959. 6(1), 80–91 p. <https://www.jstor.org/stable/2627477>

[10] N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, "The vehicle routing problem", in Combinatorial Optimization. Wiley, Chichester, 1979. pp 315-338.

[11] Bowersox, Donald J., author. Supply chain logistics management/Donald J. Bowersox [and three others. Fifth edition. New York: McGraw-Hill, 2020. Includes bibliographical references and index. 462 pages. <https://lccn.loc.gov/2018041848>.

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

Muratov
Abobakr
Xolikberdiyevich
/ Abobakr
Muratov

Termiz davlat muhandislik va
agrotekhnologiyalar universiteti
"Transport muhandisligi va
logistika" kafedrası dotsenti,
t.f.f.d. (PhD);
E-mail:
abubakr.muratov@mail.ru
Tel.: +99891-574-33-99
<https://orcid.org/0000-0002-4450-2892>



Architectural and planning organization of a multifunctional residential complex for sustainable urban planning: using the example of Namangan city

D.K. Mirzajonov¹, E.V. Shchipacheva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article is dedicated to the issues of architectural and planning organization of a multifunctional residential complex designed to solve modern urban planning problems: satisfying the social needs of the population, ensuring the safety of life activities and the stability of structures in dry hot climates and seismic hazards. A concept for the architectural and planning organization of a multifunctional residential complex is presented, meeting modern requirements for implementing sustainable urban planning principles in sharply continental climates. A design solution for a multifunctional residential complex for 1,000 residents has been proposed, representing a self-sufficient environment that combines apartments, commercial facilities, social infrastructure, and recreational areas.

Keywords: sustainable urban planning, multifunctional residential complex, comfortable environment, safety of living, energy efficiency, design concept, living environment, demographic composition of the population

Архитектурно-планировочная организация многофункционального жилого комплекса для устойчивого градостроительства: на примере города Наманган

Мирзажонов Д.К.¹, Щипачева Е.В.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Статья посвящена вопросам архитектурно-планировочной организации многофункционального жилого комплекса, призванного решить проблемы современного градостроительства: удовлетворение социальных потребностей населения, обеспечение безопасности жизнедеятельности и устойчивости строений в условиях сухого жаркого климата и сейсмической опасности. Представлена концепция архитектурно-планировочной организации многофункционального жилого комплекса, отвечающая современным требованиям к реализации принципов устойчивого градостроительства в условиях резко-континентального климата. Предложено проектное решение многофункционального жилого комплекса на 1000 жителей, представляющего собой самодостаточную среду, объединяющую квартиры, коммерческие объекты, социальную инфраструктуру и рекреационные зоны.

Ключевые слова: устойчивое градостроительство, многофункциональный жилой комплекс, комфортная среда, безопасность проживания, энергоэффективность, концепция проектирования, жилая среда, демографический состав населения

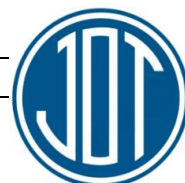
1. Введение

Концепция устойчивого градостроительства получает широкое распространение в мировом сообществе. Она направлена на обеспечение безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности людей, ограничение негативного воздействия на окружающую среду и охрану природных ресурсов. В строительной отрасли это означает ориентацию на создание многофункциональных зданий и территорий, а также интенсивное использование земельных ресурсов и компактность застройки.

Среди основных принципов устойчивого городского развития особое значение имеет сокращение доли монофункциональных кварталов в городах; повышение доли в застройке кварталов приносящей доход недвижимости – торговли, общепита и офисов; разнообразие типов жилой недвижимости по уровню доступности для предотвращения сегрегации по доходам различных групп населения; реализация парадигмы компактной городской среды.

Однако, если вопрос внедрения в жилые здания объектов, приносящих доход, решается достаточно последовательно, то вопрос о необходимости

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



обеспечения жителей детскими дошкольными и образовательными учреждениями, зонами для проведения общественных мероприятий, отдыха и спорта, автостоянками и т.п. реализуется очень слабо. Кроме того, стоит отметить, что расположение доходной недвижимости в структуре жилого квартала в настоящее время является хаотичным и не обоснованным ни по количеству, ни по назначению. Так, например, в одном жилом доме могут располагаться 3 аптеки, 2 кассы по продаже авиабилетов и 2 салона красоты.

В ранее выполненных исследованиях нами был произведен анализ путей совершенствования архитектурно-планировочной организации жилого комплекса для устойчивой градостроительной среды [1-7], в результате которого было предложено рассматривать многофункциональный жилой комплекс как самодостаточную среду, при этом расчёт пространств общественного назначения (определение их состава и площадей) проводить на основании ШНК 2.07.01-23 «Градостроительное планирование развития и застройки территорий населенных пунктов» [8].

Кроме того, в последние годы отмечается стремительный рост крупных городов Узбекистана. Огромными темпами растет их население. Например, Ташкент, как крупнейший экономический и культурный центр, принимает значительную долю внутренних мигрантов. Наманган, расположенный в самой густонаселенной части Центральной Азии – Ферганской долине, находится на историческом торговом пути и является центром культурного обмена и образования. Узбекская часть Ферганской долины занимает всего 4% от территории страны, но в ней проживает 29% населения, и Наманган является вторым по численности населения городом РУз [9].

Вместе с ростом населения, увеличивается и число индивидуальных автомобилей, вызывающее «заторы» на транспортных магистралях, сокращается площадь зеленых насаждений. Все эти процессы приводят к снижению уровня комфортности и безопасности жителей. В связи с этим, актуальным являлась разработка концепции проектирования современной жилой среды, нацеленной на удовлетворение социальных потребностей населения, обеспечение безопасности жизнедеятельности и устойчивости строений в условиях сухого жаркого климата и сейсмической опасности. Принимая во внимание, что во многих городах Узбекистана преобладает монофункциональная застройка, то, опираясь на международный опыт, нами была разработана концепция совершенствования архитектурно-планировочной организации жилого комплекса в климатических условиях Узбекистана [10], заключающаяся в следующих положениях:

1. Проектировать многофункциональное жилое здание следует как самодостаточную среду для жителей, при этом расчет пространств общественного назначения (определение их состава и площадей) проводить на основании действующих градостроительных норм ШНК 2.07.01-23 «Градостроительное планирование развития и застройки территорий населенных пунктов».

2. Этажность многофункционального здания или комплекса принимать на основе технико-экономического обоснования для конкретного города с учетом его физико-геологических особенностей.

3. При разработке планировочных решений квартир учитывать опыт национальной узбекской архитектуры, а также требования ШНК 2.08.01 – 05 «Жилые здания», в том числе и по устройству летних помещений.

4. Состав квартир и их количество следует принимать, исходя из социально-демографической характеристики района строительства.

5. Проектировать многофункциональное здание со смешанной системой функционирования – к помещениям коммерческого назначения и офисам, расположенным на нижних этажах, организовывать вход со стороны улицы (открытая система функционирования), к квартирам, помещениям школы детского сада, игровым площадкам и спортивным залам – только со стороны внутреннего закрытого двора или по внутренним коммуникационным путям (закрытая система функционирования).

6. Устраивать зеленые рекреационные пространства, располагая их в буферной зоне между жилыми и общественными помещениями, на кровле здания, а также разреженно на этажах между квартирами или при квартирах.

7. Конструктивное решение здания должно отвечать требованиям сейсмостойкости, энергоэффективности и экологичности.

8. Обязательно устраивать многоуровневую парковку личного автотранспорта, в полной степени отвечающую запросам жителей.

9. Площадь придомовой территории и ее оснащение должны быть определены на основании ШНК 2.07.01-23 «Градостроительное планирование развития и застройки территорий населенных пунктов».

Целью настоящих исследований явилась реализация принципов, заложенных в Концепции, в проектно-решении жилого комплекса на 1000 жителей в г. Наманган.

2. Методика исследования

Объектом исследований явился многофункциональный жилой комплекс, нацеленный на удовлетворение социальных потребностей населения, обеспечение безопасности жизнедеятельности и устойчивости строений в условиях сухого жаркого климата и сейсмической опасности.

В качестве предмета исследования выбрана планировочная структура жилого комплекса и формирование микроклимата с учетом экономии энергоресурсов.

В исследовании использованы теоретические и практические материалы, отражающие принципы проектирования многофункциональных жилых зданий и комплексов в отечественной и зарубежной практике.

Основными методами исследований приняты системный и сравнительный функционально-композиционный анализы проектных решений многофункциональных жилых комплексов.

3. Результаты и обсуждение

Изначально стояла задача разработки объемно-планировочного решения многофункционального жилого комплекса, включающего, кроме квартир,



помещения жизнеобеспечения жителей – от предприятий общепита и торговли, до начальной школы, детского сада, спортивных залов, библиотеки, офисных помещений и т.д., что соответствовало бы реализации принципов устойчивого градостроительства.

Архитектурно-планировочные решения должны были основываться на четком разделении зон различных видов деятельности с учетом их специфики и потребностей жителей, гарантируя обеспечение необходимого комфорта и безопасности проживания, а также эффективность эксплуатации строения.

В связи с этим, необходимо было иметь ясное представление о демографическом составе населения, о реальных потребностях в предприятиях первой необходимости и климатических условиях района строительства.

Город Наманган расположен в восточной части Узбекистана, в Ферганской долине, на высоте около 450-480 метров над уровнем моря. Его координаты - 41,0° с. ш., 71,6° в. д. Ландшафт характеризуется равнинами и холмами, а близость горных хребтов усиливает континентальный характер климата [11].

По данным Государственного комитета статистики Республики Узбекистан, численность населения города на 1 января 2025 года составила около 713,4 тыс. человек. Высокий уровень рождаемости и миграционный приток из сельских районов обусловили значительное увеличение плотности населения. Так, плотность населения Наманганской области в 2025 году составила более 420 человек на 1 км², что делает её одной из наиболее заселённых территорий Узбекистана [9].

По данным выборочных обследований домашних хозяйств Агентства статистики, по состоянию на январь-ноябрь 2023 года в Наманганской области количество членов домашних хозяйств составляет:

- из одного человека – 4,1 % домашних хозяйств,
- из двух человек – 8,9 % домашних хозяйств,
- из трех человек – 12,0 % домашних хозяйств,
- из четырех человек – 17,4 % домашних хозяйств,
- из пяти человек – 22,3 % домашних хозяйств,
- из шести и более человек – 35,3 % домашних хозяйств [9].

Средний размер домохозяйства в городе Наманган составил 4,53 человека. Таким образом, общее количество квартир для 1000 жителей комплекса определено в 220 квартир, распределение которых по типам приведено в табл. 1.

В соответствии с ШНК 2.07.01-23 были установлены необходимые типы и количество общественных зданий для 1000 жителей, рассматривая жилой комплекс как отдельный населённый пункт: школа (с 1 по 4 класс) на 100 учеников; детский сад на 160 мест; медицинский пункт с аптекой; магазин продовольственных товаров с торговой площадью 80 м²; магазины промтоваров с общей торговой площадью 120 м²; кафе на 25 посадочных мест; зрительный зал на 180 мест; спортивный (фитнес) зал; библиотека; помещения жилищно-эксплуатационной организации. Дополнительно было решено добавить помещения для офисов, паркинг на 200 автомобилей.

Таблица 1

Требуемое количество типов квартир

Тип семьи	Процент семей по типу (%)	Тип квартире и количества
1 человек	4,1	Студии+1 ком=30
2 человека	8,9	
3 человека	12	2 ком= 25
4 человека	17,4	3 ком= 39
5 человека	22,3	4 ком= 48
6 человека	35,3	5 ком= 78

Исходя из разработанной концепции проектирования многофункциональных жилых комплексов и ориентируясь на международный опыт проектирования энергоэффективных зданий, было решено придать комплексу форму окружности в плане, что с одной стороны позволяет повысить энергоэффективность здания на 15-20% без лишних затрат, а с другой стороны, позволяет избежать большого количества антисейсмических швов (рис. 1). Пространственное решение было спроектировано с учетом климата г. Наманган, направления движения солнца и ветра.



Рис. 1. Внешний вид запроектированного многофункционального жилого комплекса

Здание выполнено в виде кольцевой (замкнутой) композиции с внутренним открытым двором – атриумом, который играет ключевую роль в формировании комфортной внутренней среды. Такая планировка обеспечивает поступление солнечного света в квартиры и помещения общественного назначения и со стороны дворового пространства, способствует эффективной естественной вентиляции в результате интенсивного вовлечения воздуха в атриум на уровне первого этажа в двухэтажном блоке здания.

Объём здания организован сегментировано: внешнее кольцо разделено на отдельные блоки, что визуально облегчает массив и придаёт фасаду динамичность. Этажность варьируется от среднеэтажных частей до более высокой доминанты (от 2 до 11 этажей), которая формирует выразительный силуэт и может служить архитектурным акцентом в городской среде.

Во всех объемах, кроме двухэтажного, квартиры расположены, начиная со второго этажа. Решение жилой части – типовое, что обеспечивает формирование



единой системы канализации, водоснабжения и вентиляции здания.

Комплекс состоит из 8 жилых блок-секций (рис. 2) и одной секции (И) с офисными помещениями.

Запроектированный жилой комплекс предназначен для расселения 1000 жителей. В нем предусмотрено 220 квартир различного состава (от однокомнатных до пятикомнатных).



Рис. 2. Обозначение блоков жилого комплекса

Позэтажные планы жилых блок-секций Б, В, Г, Д и Е одинаковые. На каждом этаже размещены все типы квартир (от одно- до пятикомнатных), что играет важную роль в установлении связей между проживающими здесь семьями разного достатка и формировании духа добрососедства, являющегося национальной ценностью (рис. 3).

Блок-секции А и З имеют второй тип планировки (рис. 4). И третий тип планировки имеет блок-секция Ж (рис. 5).

В каждой блок-секции предусмотрены два лифта и лестница, а также поэтажный коридор, позволяющий разместить входы в пять квартир.

Входы в жилые блок-секции предусмотрены со стороны дворового фасада. Это исключает появление посторонних людей на жилых этажах здания, повышая степень безопасности.

Из блок-секций А, Б, В, Г, Д и Е предусмотрены выходы на детские и спортивные площадки, расположенные на покрытии соседних более низких блоков.

Первые этажи всех блоков, за исключением блока И, предназначены для расположения помещений общественного назначения, входы в большинство из которых предусмотрены и со стороны внутреннего двора, и со стороны улицы (рис.6).



Рис. 3. Планировка блок-секций Б, В, Г, Д и Е



Рис. 4. Планировка блок-секций А и З



Рис. 5. Планировка блок-секции Ж

На втором этаже блока И располагается группа офисных помещений.

В подвале здания запроектированы технические помещения с тепло- и водоизмерительными узлами, электрощитовые, дворничские и автопаркинг на 200 машин. Входы в подвальные помещения предусмотрены со стороны внутреннего двора.

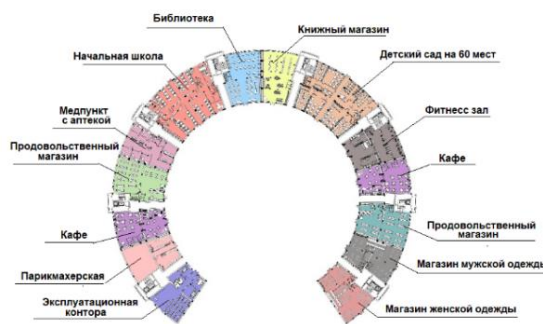


Рис. 6. Расположение помещений общественного назначения

С функциональной точки зрения здание обладает рядом преимуществ. Внутренний двор может использоваться как рекреационная зона, пространство для отдыха и социального взаимодействия. Кольцевая структура позволяет удобно организовать пешеходные и транспортные потоки, а также защищает внутреннее пространство от внешнего шума. При этом сегментация объема облегчает зонирование, например, под жилые, офисные или общественные функции. К возможным недостаткам можно отнести усложненность конструктивных решений и нестандартную геометрию некоторых внутренних помещений.

С точки зрения энергоэффективности проект имеет

значительный потенциал. Атриум способствует снижению потребления электроэнергии за счёт естественного освещения и может обеспечивать эффект естественной тяги воздуха. Компактная форма уменьшает теплопотери через ограждающие конструкции, а разнонаправленные фасады позволяют более равномерно использовать солнечную энергию.

Дополнительно эффективность здания можно повысить за счёт внедрения современных технологий: установки солнечных панелей, применения энергоэффективных стеклопакетов и двойных фасадов, озеленения кровли, а также благоустройства внутреннего двора с элементами ландшафтного дизайна, улучшающими микроклимат.

В целом, данный объект можно охарактеризовать как гармоничное сочетание эстетики, функциональности и устойчивых архитектурных решений, обладающее потенциалом для создания комфортной и энергоэффективной среды.

4. Заключение

В результате выполненных исследований установлены основные принципы совершенствования объемно-планировочных решений многофункциональных жилых комплексов в климатических условиях Узбекистана: повышение компактности формы; использование внутренних дворов и организация пространств, способствующих естественной вентиляции квартир; зонирование помещений с учетом их функционального назначения и тепловых нагрузок; требование интеграции традиционных архитектурных приёмов и современных технологий, обеспечивающих сейсмостойкость, энергоэффективность и высокий уровень комфорта проживания., которые были положены в разработку концепции проектирования многофункциональных зданий на территории городов Узбекистана.

Предложен новый подход к расчету потребности в типах квартир, количестве общественных учреждений, основанный на численности жителей данного жилого комплекса, демографическом составе населения района строительства, реальных потребностях населения и градостроительных нормах.

Представленное проектное решение многофункционального жилого комплекса на 1000 жителей для г. Наманган в достаточной степени отвечает современным требованиям к реализации принципов устойчивого градостроительства.

Исследование представляет интерес для совершенствования объемно-планировочных решений многофункциональных жилых комплексов, а также для понимания их роли в современном обществе.

Использованная литература / References

[1] Architecture Classics: Unite d' Habitation / Le Corbusier. URL: <https://www.archdaily.com/85971/ad-classics-unite-d-habitation-le-corbusier>

[2] Смольникова В. Т. Многофункциональный жилой комплекс – новый тип современного

комфортного жилья / В. Т. Смольникова // Master's Journal. – 2024 – № 1 – Art. № 17

[3] Multifunctional Building: Definition, Advantages & Benefits URL: <https://www.blue-id.com/en/blog/multifunctional-building>

[4] Гордиенко Л. В., Нагапетян К. С. Исследование особенностей планировки территории жилого комплекса повышенной комфортности // Инженерный вестник Дона. 2020. №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6470.

[5] Многофункциональный жилой комплекс «Ленинские холмы» URL: <https://stroy-mosreg.ru/projects/leninskie-kholmy>

[6] Многофункциональный комплекс «Пять звезд» URL: <https://archi.ru/projects/russia/10935/mnogofunkcionalnyi-kompleks-pyat-zvezd>

[7] Лекомбат М.Е., Чайко Д.С. Современные принципы формирования архитектуры многофункциональных жилых комплексов в странах с жарким климатом // Инновации и инвестиции. – 2023. – №4. – С. 447-451. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-printipy-formirovaniya-arhitektury-mnogofunktsionalnyh-zhilyh-kompleksov-v-stranah-s-zharkim-klimatom/viewer>

[8] Мирзажонов Д.К., Щипачева Е.В. Многофункциональный жилой комплекс как новый тип жилого здания// ENGINEER INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL, Special ISSUE 16 июня, 2025, С. 135-137.

[9] stat.uz. Национальный комитет Республики Узбекистан по статистике

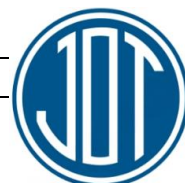
[10] Mirzajonov D.Q., Shchipacheva E.V. New approach to designing multifunctional residential buildings// INTERNATIONAL JOURNAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE American Academic publishers, volume 05, issue 12, 2025- page 1053-1061 Journal: <https://www.academicpublishers.org/journals/index.php/ijai>

[11] Бабушкин Л.Н., Когай Н.А. Физическая география Средней Азии. Учебное пособие. –Т.: ТашГУ, 1978. -23-45с

Информация об авторах/ Information about the authors

Щипачева Елена / Elena Shchipacheva	Ташкентский государственный транспортный университет, профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений», (DSc) E-mail: eshipacheva@mail.ru https://orcid.org/0009-0000-0489-445X
-------------------------------------	--

Мирзажонов Д.К. / D. Mirzajonov	Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: mcdoniyor9805@gmail.com
---------------------------------	--



Mathematical modeling of the urban public transport system in Termiz city based on passenger flows and simulation-based timetable improvement

A.L. Komilov¹^a, A.U. Kuziev¹^b

¹Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez, Uzbekistan

Abstract: This paper presents a simulation-based approach for analyzing and optimizing urban bus transport systems and their timetables using the city of Termiz as a case study. Rapid urbanization, population growth, and the expansion of residential and public service areas have increased the demand for efficient public transport services. However, the existing bus route network and operating timetables do not fully correspond to current passenger demand, resulting in uneven vehicle loading, longer passenger waiting times, and inefficient utilization of transport resources. A mathematical model based on graph theory and simulation is developed to evaluate the performance of the urban bus network. The model considers passenger flows, route characteristics, bus stops, service headways, and overlapping route sections to improve timetable coordination and resource allocation. Based on the simulation results, recommendations are proposed for route reorganization, timetable optimization, and service frequency adjustment. The findings demonstrate that the proposed methodology improves the operational efficiency and reliability of the urban bus transport system, reduces passenger waiting time, and supports more rational use of transport resources. The proposed approach can serve as a practical decision-support tool for planning and managing public transport systems in medium-sized cities.

Keywords: urban public transport, bus transport system, bus route network, timetable optimization, simulation modeling, graph theory, passenger flow analysis, timetable synchronization, overlapping routes, transport network optimization

Termiz shahri jamoat transport tizimini yo'lovchi oqimlari asosida matematik modellashtirish va simulyatsiya orqali harakat jadvalini takomillashtirish

Komilov A.L.¹^a, Kuziyev A.U.¹^b

¹Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Termiz, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada Termiz shahri misolida shahar avtobus transport tizimi va uning harakat jadvalini simulyatsion modellashtirish asosida tahlil qilish hamda optimallashtirish usuli taklif etilgan. Urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi, aholi sonining ortishi hamda yangi turar joy massivlari va ijtimoiy infratuzilma obyektlarining kengayishi samarali jamoat transporti xizmatlariga bo'lgan talabni sezilarli darajada oshirmoqda. Biroq, mavjud avtobus yo'nalishlari tarmog'i va harakat jadvallari amaldagi yo'lovchi talabiga to'liq mos kelmaydi. Natijada transport vositalarining notekis yuklanishi, yo'lovchilarning kutish vaqtining ortishi va transport resurslaridan samarasiz foydalanish holatlari yuzaga kelmoqda. Tadqiqotda graf nazariyasi va simulyatsion modellashtirish usullariga asoslangan matematik model ishlab chiqilgan. Mazkur modelda yo'lovchi oqimlari, avtobus yo'nalishlarining tavsiflari, bekatlar soni, harakat oralig'i (headway) hamda ustma-ust tushadigan marshrut uchastkalari hisobga olinib, harakat jadvallarini muvofiqlashtirish va transport resurslarini oqilona taqsimlash masalalari tahlil qilingan. Simulyatsiya natijalari asosida avtobus yo'nalishlarini qayta tashkil etish, harakat jadvallarini optimallashtirish va qatnovlar chastotasini takomillashtirish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari taklif etilgan metodologiya shahar avtobus transport tizimining ekspluatatsion samaradorligi va ishonchligini oshirish, yo'lovchilarning kutish vaqtini qisqartirish hamda transport resurslaridan yanada oqilona foydalanishni ta'minlashini ko'rsatdi. Taklif etilgan yondashuv o'rta hajmdagi shaharlar jamoat transport tizimini rejalashtirish va boshqarishda qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi samarali amaliy vosita sifatida qo'llanilishi mumkin.

^a <https://orcid.org/0009-0006-2656-3954>

^b <https://orcid.org/0000-0002-8121-8030>



Kalit so'zlar:

shahar jamoat transporti, avtobus transporti tizimi, avtobus yo'nalishlari tarmog'i, harakat jadvalini optimallashtirish, simulyatsion modellash, graf nazariyasi, yo'lovchi oqimini tahlil qilish, harakat jadvalini sinxronlashtirish, ustma-ust tushadigan yo'nalishlar, transport tarmog'ini optimallashtirish

1. Kirish

Jamoat transporti tizimining samaradorligi yo'lovchilarga ko'rsatilayotgan xizmat sifati, avtobus yo'nalishlari tarmog'ining oqilona tashkil etilishi hamda harakat jadvalining yo'lovchi talabiga mosligi bilan belgilanadi. Transport xizmatlari sifatini oshirishda yo'nalishlarning qulayligi, harakat oralig'ining me'yoriy darajada saqlanishi, bekatlar infratuzilmasining rivojlanganligi va qatnovlarning muntazamligi muhim omillar hisoblanadi. Ushbu ko'rsatkichlarni optimallashtirish yo'lovchilarning jamoat transportidan foydalanish darajasini oshirish, shaxsiy avtomobillardan foydalanish ulushini kamaytirish hamda yo'l-transport tarmog'idagi tirbandlik, transport vositalarining notekis yuklanishi, bekatlarda ortiqcha kutish vaqti va atmosfera havosiga chiqarilayotgan zararli moddalarning kamayishiga xizmat qiladi. Surxondaryo viloyati Transport boshqarmasi ma'lumotlariga ko'ra, 2023-yilda Termiz shahrida bir nafar fuqaro yil davomida o'rtacha 316 marta jamoat transporti xizmatidan foydalangan. Shundan 60–65 % qismi ish joylari va ta'lim muassasalariga qatnovlar hissasiga to'g'ri kelgan. Mazkur holat shahar avtobus transporti tizimida yo'lovchi oqimlarini simulyatsion modellash, harakat jadvalini optimallashtirish hamda yo'nalishlararo muvofiqlashtirish masalalarining dolzarbligini tasdiqlaydi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Transport tizimini rejalashtirish va boshqarishda yo'lovchi oqimlari, harakat jadvali hamda yo'nalishlar tarmog'ini matematik va simulyatsion modellash asosida baholash transport xizmatlari sifatini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Bunday yondashuv yo'lovchilar ehtiyojini aniq baholash, resurslardan oqilona foydalanish va harakat jadvalini optimallashtirish imkonini beradi [7]

Ties Brands, Eric de Romph, Tim Veitch va Jamie Cook tadqiqotlarida yo'lovchilarning jamoat transportidan foydalanish jarayonida yo'nalish tanloviga ta'sir etuvchi omillar tahlil qilingan. Mualliflar transport tizimini modellashda yo'lovchining bekatgacha yetib borishi (access), asosiy qatnovni amalga oshirishi va manzilgacha harakatlanishi (egress) jarayonlarini yagona tizim sifatida hisobga olish zarurligini ta'kidlaydilar. Mazkur yondashuv yo'lovchi oqimlarini aniq prognozlash va harakat jadvalini optimallashtirish imkonini beradi [1].

J. Gerlach va H. Voss agentlarga asoslangan simulyatsion modellash (Agent-Based Simulation, ABS) yordamida jamoat transporti yo'nalishlari tarmog'ini optimallashtirish metodikasini taklif etgan. Tadqiqot natijalari qayta tashkil etilgan yo'nalishlar tarmog'i transport qamrovini 12–18 % ga oshirish va yo'lovchilarning safar vaqtini 10 % gacha qisqartirish imkonini berishini ko'rsatgan [2].

Rose J.M. va Francisco Martínez tomonidan ishlab chiqilgan Land Use and Transport Interaction (LUTI) modeli shahar hududlaridan foydalanish va transport infratuzilmasi o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni baholashga xizmat qiladi. Ushbu modelda diskret tanlov (Logit va

Nested Logit) usullari orqali yo'lovchilarning manzil tanlovi, bekatlargacha bo'lgan masofa, safar vaqti va transport xarajatlari hisobga olinadi. Mazkur yondashuv yo'lovchi oqimlarini prognozlash, avtobus yo'nalishlari tarmog'ini shakllantirish hamda harakat jadvalini simulyatsiya asosida takomillashtirishda samarali ilmiy vosita hisoblanadi [3, 4].

Matematik model orqali tahlil etiladi. Umumiy tashish vaqtini **minimallashtirish** va tashish samaradorligini **maksimallashtirish** buyurda, L – umumiy marshrut uzunligi (km); V – o'rtacha tezlik (km/soat); N – bekatlar soni; T_f – bir bekatda o'rtacha to'xtash vaqti (min); Q – yo'lovchilar oqimi (kishi/soat); C – transport vositasining sig'imi (kishi); n – transport vositalari soni; t_{ij} – i -bekatdan j -bekatgacha vaqt (soat).

Maqsad funksiyasi: umumiy xizmat ko'rsatish vaqtini minimallashtirish

$$\min T_{um} = \sum_{i=1}^{N-1} t_{i,i+1} + N \cdot \frac{T_f}{60} \quad (1.1)$$

bunda N – oraliq bekatlar soni; L – umumiy marshrut uzunligi (km); V – transport vositasining o'rtacha tezligi (km/soat); T_f – bir bekatda to'xtash vaqti (minut); T_{um} – umumiy harakat vaqti (soat); D – yo'lovchilarning kutilgan kutish vaqti (minut).

Talabga ko'ra to'xtash modelida har bir qo'shimcha to'xtash o'rtacha ΔN marta sodir bo'ladi, va harakat yo'nalishi bo'yicha umumiy bekatlar soni oshadi:

$$T_{um} = \frac{L + \Delta L}{V} + (\Delta N) \cdot \frac{T_f}{60} \quad (1.2)$$

buyurda ΔL – talabga ko'ra marshrutning ortiqcha yurilgan masofasi.

Qat'iy bekatlar bilan modelida marshrutning harakat vaqti doimiy, yo'lovchilar uchun kutish vaqti minimallashtiradi

$$T_{um} = \frac{L}{V} + N \cdot \frac{T_f}{60} \quad (2.3)$$

Bunda $\Delta N > N$ bo'ladi, demak umumiy harakat vaqti, marshrutdagi o'rtacha harakat vaqti va yoqilg'i sarfi, yo'lovchilar uchun kutish vaqti oshadi.

Yo'lovchi tashish samaradorligini oshirish

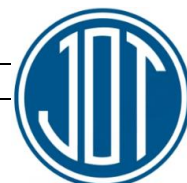
$$\max \eta = \frac{Q \cdot L}{n \cdot T_{um}} \quad (1.4)$$

bunda η – transport samaradorligi ko'rsatkichi (kishi·km/soat). Bu funksiya - har bir avtobusning bir soatda qancha yo'lovchi·km ishlab chiqarganini ko'rsatadi. Shu qiymat **maksimallashtiriladi**.

Yo'lovchi oqimi oshgan holatlardagi yondashuvlarda biri yo'lovchi oqimi oshgan holatlarda transport tizimi quyidagicha moslashuvchanlikni talab qiladi, ya'ni adaptiv bekat tizimi. Bunda yo'lovchi oqimi yuqori bo'lgan bekatlarda bekatdagi avtobus to'xtash vaqti T_f ortadi. Bunday holatda qo'shimcha vositalar ajratish yoki marshrutni qismlarga bo'lish samarali bo'ladi.

Ikkinchisi esa yo'nalishni zichlashtirish. Agar $Q > n \cdot C$, ya'ni har bir transport vositasining maksimal sig'imi yetmay qolsa, transport vositalari soni n oshiriladi yoki "express" (kam bekatli) yo'nalishlar tashkil qilinadi.

Yo'lovchi talabi va oqimi vaqt bo'yicha o'zgarib turgan sharoitlarda (masalan, ertalab va kechki tig'iz soatlar) "pik" davrlarda avtobuslar harakat oralig'i qisqartirilib, qatnovlar



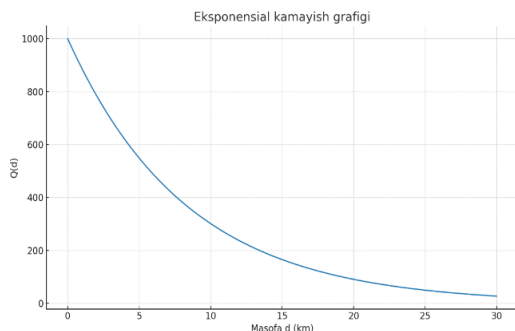
soni ko'paytiriladi, kam yuklama kuzatiladigan vaqtlarda esa harakat jadvali siyraklashtiriladi.

Bekatlarni orasidagi o'rtacha masofa d , va yo'lovchi oqimi Q orasida bog'liqlik mavjud bo'lib, yo'lovchi oqimi masofaga qarab eksponentsial kamayadi va quyidagi (1.5) formula bilan ifodalanadi [5].

$$Q(d) = Q_{\max} \cdot e^{-\alpha d}, \quad (1.5)$$

bunda $Q(d)$ – oraliq masofa d bo'lgan ikki bekat orasidagi yo'lovchi oqimi, α – pasayish koeffitsiyenti (hududga bog'liq).

Gravitatsion model asosida ishlab chiqilgan transport oqimi modellarida foydalaniladigan bu model orqali bekatlar soni va joylashuvi yo'lovchi oqimiga qarab optimallashtiriladi (1-rasm).



1-rasm. Eksponentsial kamayish grafigi.

Qat'iy belgilangan bekatlar bilan tashishni maqsad funksiyasi orqali optimallashtirish mumkin. Yo'lovchi oqimi oshgan holatlarda tizim adaptiv yondashuv talab qiladi. Samaradorlik uchun yo'nalish zichligi, express tarmoq, vaqtga bog'liq jadval, bekat zichligi singari parametrlar optimallashtiriladi [5].

To'xtash bekatlari (oraliq punktlar) orasidagi **optimal masofani aniqlash** - shahar jamoat transporti tizimidagi **asosiy samaradorlik ko'rsatkichlaridan biri** hisoblanadi. Optimal masofa shunday tanlanishi kerakki, **yo'lovchilarga qulaylik, tashish vaqti xarajatlari, va yo'lovchi oqimi o'rtasida muvozanatni ta'minlasin.**

O'rganilayotgan hududda oraliq to'xtash bekatlari ratsional masofa d ni aniqlash uchun (1-jadvalda keltirilgan asosiy mezonlardan foydalanildi).

1-jadval

Oraliq to'xtash bekatlari ratsional masofasini aniqlash mezonlari

№	Mezoni nomi	Izoh
1	Yo'lovchi oqimi $Q(d)$	Masofa ortgani sari kamayadi $Q(d) = Q_{\max} \cdot e^{-\alpha d}$,
2	Tashish vaqti T_{um}	Bekatlarni soni ko'p bo'lsa – ko'p vaqt ketadi $T_{um} = \frac{L}{V} + N \cdot \frac{T_f}{60}$
3	Xarajatlari $C(d)$	Ko'p bekat – ko'p to'xtash, ortiqcha energiya, vaqt va ekspluatatsiya xarajati
4	Yo'lovchilarga qulaylik	Masofa juda katta bo'lsa – odamlar piyoda yurishni istamaydi, bekatlar uzoq

Ma'lum qiymatlarni asos qilib, **optimal masofani** aniqlovchi **maqsad funksiyasi** tuzamiz:

$$\min Z(d) = w_1 \cdot T_{um}(d) + w_2 \cdot C(d) - w_3 \cdot Q(d) \quad (1.6)$$

yoki

$$\max Z(d) = w_3 \cdot Q(d) - w_1 \cdot T_{um}(d) - w_2 \cdot C(d) \quad (1.7)$$

bunda $Z(d)$ – umumiy xarajat, $T_{um}(d)$ – harakatga sarflanadigan **vaqt** (odatda oraliq bekatlar soni ko'payganda ortadi), $C(d)$ – **ekspluatatsion xarajatlari** (yoqilg'i, texnik xizmat, tormoz-tezlik yuklamalari), $Q(d)$ – **yo'lovchilarni** (masofa ortgan sari kamayadi, ammo ijobiy holat sifatida qaraladi), w_1, w_2, w_3 – vazn koeffitsientlari. Bu modelda $Z(d)$ minimalga erishganda d optimal qiymat hisoblanadi.

Hisoblash uchun parametrlar: (2-jadval)

$$L = 6000 \text{ m}, \alpha = 0,5, Q_{\max} = 358 \text{ yo'lovchi},$$

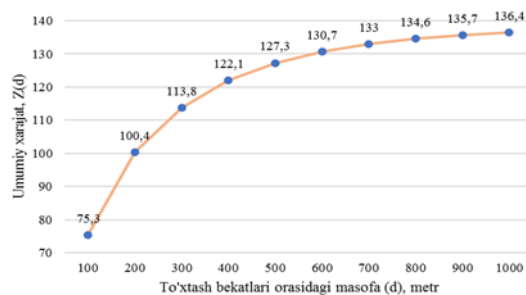
$$w_1 = 0,4, \quad w_2 = 0,2, \quad w_3 = 0,4.$$

2-jadval

Optimal bekatlar oraliq'ini aniqlash uchun maqsad funksiyasini hisoblashda foydalanilgan parametrlar

d, m	$N = L/d$	$Q(d)$	$T_{um}(d)$	$C(d)$	$\max Z(d)$
10	60	218.	0.01	60	87.3–0.004
0		25	0		–12=75.296
20	30	265.	0.00	30	106.38–0.002–6=1
0		95	5		00.378
30	20	294.	0.00	20	117.87–0.0013–4=
0		67	33		113.8687
40	15	312.	0.00	15	125.14–0.001–3=1
0		86	25		22.139
50	12	324.	0.00	12	129.68–0.0008–2.
0		21	2		4=127.279
60	10	331.	0.00	10	132.76–0.0006–2=
0		89	16		130.759
70	8.57	336.	0.00	8.5	134.73–0.0006–1.
0		82	14	7	714=133.0
80	7.5	340.	0.00	7.5	136.19–0.0005–1.
0		48	125		5=134.69
90	6.67	343.	0.00	6.6	137.3–0.0004–1.3
0		22	11	7	34=135.96
100	6	345.	0.00	6	138.13–0.0004–1.
00		32	1		2=136.93

Misolar natijasiga ko'ra $Z(d)$ qiymati ortib bormoqda, bu bekatlar oraliq'ini oshgan sari foyda o'rinishini bildiradi. Ammo bu nazoratsiz to'xtashlarni kamaytirish hisobiga bo'ladi, bu esa xizmat sifati va transport qulayligini pasaytiradi [8]. Bunda oraliq masofa optimal $d=600-700$ metr atrofida keskin o'sishdan keyin barqarorlashadi. Agar ekologik zarar, ortiqcha yoqilg'i sarfi va real vaqt xarajati ham qo'shilsa, **optimal oraliq yana 300-400 metr** oraliq'iga tushadi (2-rasm).



2-rasm. Bekatlar orasidagi masofa bo'yicha foyda funksiyasi

Hisoblash natijalariga ko'ra bekatlar oraliq'ini ortishi bilan avtobusning harakat vaqti qisqaradi, ekspluatatsiya xarajatlari kamayadi. Biroq 700–800 m dan keyin

yo'lovchilarning bekatgacha piyoda yurish masofasi ortishi hisobiga transportdan foydalanish darajasi pasaya boshlaydi. Kompleks baholash natijalariga asosan Termiz shahri sharoiti uchun avtobus bekatlari oralig'ining ratsional masofasi 500–700 m ekanligi aniqlandi. Mazkur masofa transport vositalarining harakat samaradorligi, yo'lovchilar uchun qulaylik va ekspluatatsiya xarajatlari o'rtasidagi optimal muvozanatni ta'minlaydi (3-rasm).

Avtobuslar harakatini simulyatsion nazorat qilish quyidagilarni nazorat qilishga imkon yaratadi:

-yo'nalishlar va harakat jadvalini optimallashtirish imkonini beradi;

-yo'lovchi oqimlarini hisobga olgan holda transport resurslarini samarali taqsimlaydi;

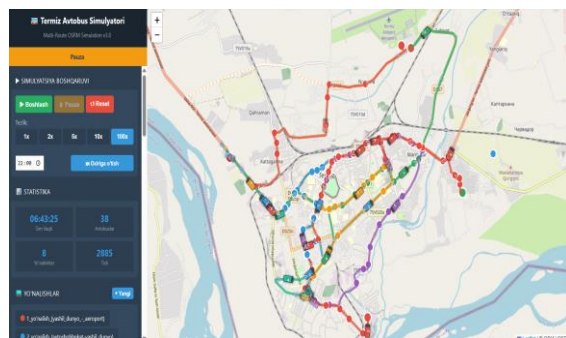
-avtobuslar orasidagi interval va kutish vaqtini kamaytiradi;

-tirbandlik va avtobuslarning bir joyga to'planishini (bus bunching) oldini oladi;

-yoqilg'i sarfi va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytiradi;

-turli ssenariylarni real sharoitga yaqin muhitda sinovdan o'tkazishga imkon yaratadi;

-transport tizimining samaradorligi va xizmat sifatini oshirish bo'yicha ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishga xizmat qiladi.



3-rasm Avtobuslar harakatining smulyatsiya jarayoni

3. Xulosa

Taklif etilgan simulyatsiya modeli Termiz shahri jamoat transporti tizimining ishlashini real sharoitlarga yaqin muhitda tahlil qilish imkonini beradi. Model yordamida avtobuslar harakati, yo'lovchi oqimlari, harakat oralig'i hamda yo'nalishlarning o'zaro ta'siri kompleks baholanadi. Simulyatsiya natijalari Termiz shahri avtobus yo'nalishlari tarmog'ida transport resurslaridan oqilona foydalanish, harakat jadvalini optimallashtirish, yo'lovchilar kutish vaqtini kamaytirish hamda transport tizimining iqtisodiy va ekspluatatsion samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] LI Xiaowei WANG Wei· XU Chengcheng LI Zhibin WANG Baojie. Multi-Objective Optimization of Urban Bus Network. Using Cumulative Prospect Theory. 2015. 28: 661–678 pp. DOI: 10.1007/s11424-015-2049-0
- [2] Mirotin L. B. Shahar yo'lovchi transportining marshrut tizimlarini modellashtirish. Moskva: Akademikotbi, 2009. 240 s.
- [3] Rose, J.M. and Martínez, F.J. (2007), "Towards a Land-Use and Transport Interaction Framework", Hensher, D.A. and Button, K.J. (Ed.) Handbook of Transport Modelling (, Vol. 1), Emerald Group Publishing Limited, Leeds, pp. 181-201. <https://doi.org/10.1108/9780857245670-009>
- [4] Spirin I.V. Shahar yo'lovchi tashishlarini tashkil etish va boshqarish. - Sankt-Peterburg: Politehnika, 2011 Yil. 198 b.
- [5] [5] Ties Brands, Eric de Romph, Tim Veitch, Jamie Cook. Modelling public transport route choice with multiple access and egress modes. // Transportation Research Procedia, Volume 10, 2015, Pages 358–367. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146514000040>
- [6] Wilson, A.G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. Transportation Research, 1(3), 253–269.
- [7] Kuziyev A.U., Komilov A.L. Hudud jamoat transporti xizmatlarining sifat ko'rsatkichlari tahlili va ularni yaxshilash usullari. Logistika va iqtisodiyot. 2021-y. III-son. 192-197. b.
- [8] Kuziyev A.U., Komilov A.L. Termiz shahar avtobus marshrut ko'cha-yo'l tarmog'i xususiyatlarini aniqlash va tahlil etish. volume 6, Issue 3, 2025. <file:///C:/Users/user/Downloads>

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

Komilov A'zamjon Lutfullayevich / Azamjon Komilov

Termiz davlat muhandislik va agrotekhnologiyalar universiteti "Transport muhandisligi va logistika" kafedrasida assistenti

Email: azamjon.komilov88@gmail.com

Tel.: +998912374841

<https://orcid.org/0009-0006-2656-3954>

Kuziyev Abdumurot Urokovich / Abdumurot Kuziev

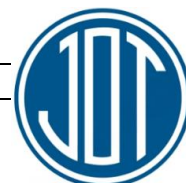
Termiz davlat muhandislik va agrotekhnologiyalar universiteti "Transport muhandisligi va logistika" kafedrasida professori, t.f.d. (DSc)

Email:

abdumurot.qoziyev.67@bk.ru

Tel.: +998915811324

<https://orcid.org/0000-0002-8121-8030>



Modified arbolite concrete based on reduced treatment waste: Composition analysis, disadvantages and technological solution

V.M. Soy¹^a, Sh.G. Eshbekov¹^b, A.O. Jumageldiev¹^c, J.A. Turgayev²^d

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak state university, Karakalpakstan, Uzbekistan

Abstract:

The article reviews the main existing compositions of arbolite concretes used as thermal insulation, structural-heat insulation and structural materials. It is shown that traditional arbolite based on wood chips has a low average density and good thermal insulation properties. However, its operational reliability is limited by the instability of the properties of organic filler, high water absorption, poor adhesion in the contact zone between the plant filler and cement stone, and the negative effect of water-soluble sugars, extractives and organic acids on cement hydration. As a technological solution, a modified arbolite concrete composition using licorice processing waste is proposed. A scheme for the preparation and mineralization of licorice waste has been developed, which includes the stages of washing, dehydration, drying, fractionation, alkaline-calcium treatment and surface mineralization. The proposed approach aims to increase the adhesion of the organic filler to the cement matrix, reduce water absorption, and reduce the loss of strength caused by chemical impurities in plant raw materials.

Keywords:

arbolite, arbolite concrete, lightweight concrete, organic filler, wood-cement composite, licorice root, licorice processing waste, mineralization, adhesion, cement matrix

Qizilmiya qayta ishlash chiqindilari asosida modifikatsiyalangan arbolitbeton: Tarkiblar tahlili, kamchiliklar va texnologik yechim

Soy V.M.¹^a, Eshbekov Sh.G.¹^b, Jumageldiev A.O.¹^c, Turgayev J.A.²^d

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Qoraqalpog' davlat universiteti, Qoraqalpog'iston Respublikasi, O'zbekiston

Annotatsiya:

Maqolada issiqlik izolyatsion, konstruktiv-issiqlik izolyatsion va konstruktiv materiallar sifatida qo'llaniladigan arbolitbetonlarning asosiy mavjud tarkiblari ko'rib chiqilgan. Yog'och qirindilari asosidagi an'anaviy arbolit past o'rtacha zichlik va yaxshi issiqlik izolyatsion xossalarga ega ekani ko'rsatilgan. Biroq uning ekspluatatsion ishonchiligi organik to'ldirgich xossalarining beqarorligi, yuqori suv shimuvchanlik, o'simlik to'ldirgichi va sement toshi orasidagi kontakt zonada adgeziyaning sustligi hamda suvda eruvchan shakarlar, ekstraktiv moddalar va organik kislotalarning sement gidratatsiyasiga salbiy ta'siri bilan cheklanadi. Texnologik yechim sifatida qizilmiya qayta ishlash chiqindilaridan foydalanilgan modifikatsiyalangan arbolitbeton tarkibi taklif etilgan. Qizilmiya chiqindilarini tayyorlash va mineralizatsiya qilish sxemasi ishlab chiqilgan bo'lib, u yuvish, suvsizlantirish, quritish, fraksiyalash, ishqoriy-kalsiyli ishlov berish va yuzani mineralizatsiya qilish bosqichlarini o'z ichiga oladi. Taklif etilgan yondashuv organik to'ldirgichning sement matritsasi bilan adgeziyasini oshirish, suv shimuvchanlikni kamaytirish hamda o'simlik xomashyosidagi kimyoviy aralashmalar tufayli yuzaga keladigan mustahkamlik yo'qotilishini pasaytirishga qaratilgan.

Kalit so'zlar:

arbolit, arbolitbeton, yengil beton, organik to'ldirgich, yog'och-sement kompoziti, qizilmiya jomi, qizilmiya qayta ishlash chiqindilari, mineralizatsiya, adgeziya, sement matritsasi

1. Kirish

Arbolitbeton organik to'ldirgichli yengil betonlar guruhiga kiradi va unda mineral bog'lovchi o'simlik kelib chiqishiga ega zarrachalarni yagona g'ovak strukturaga birlashtiradi. Og'ir beton bilan solishtirganda arbolitning o'rtacha zichligi va issiqlik o'tkazuvchanligi past bo'lib, u

harorat hamda namlik ta'sirlarini yumshatish qobiliyatiga ega. Shu sababli u kam qavatli qurilish, devor bloklari, issiqlik izolyatsion plitalar va energiya samarador to'suvchi konstruksiyalar uchun qiziqish uyg'otadi.

Me'yoriy va ilmiy-texnik amaliyotda arbolit sement bog'lovchi va organik to'ldirgich asosidagi material sifatida qaraladi. Zichlik va mustahkamlikka qarab u issiqlik

^a <https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

^b <https://orcid.org/0009-0004-4916-2577>

^c <https://orcid.org/0009-0004-3686-5695>

^d <https://orcid.org/0000-0003-2483-9727>



izolyatsion, konstruktiv-issiqlik izolyatsion yoki konstruktiv material sifatida qo'llanilishi mumkin [1]. Shu bilan birga, arbolitbeton sifati faqat sement sarfi va to'ldirgich turiga emas, balki organik xomashyoning sement tizimi bilan kimyoviy mosligiga ham bog'liq.

Suvda eruvchan shakarlar, organik kislotalar, tanninlar, saponinlar va boshqa ekstraktiv birikmalarni o'z ichiga olgan o'simlik chiqindilaridan foydalanish alohida muammo hisoblanadi. Bunday komponentlar sementning qotishini sekinlashtirishi, kalsiy gidrosilikatlarining shakllanishiga to'sqinlik qilishi va sement toshi mustahkamligini kamaytirishi mumkin [2, 3]. Shu sababli oldindan modifikatsiyalangan organik to'ldirgichga ega arbolitbeton tarkiblarini ishlab chiqish dolzarb vazifadir.

Ushbu maqolada qizilmiya ildizi va stolonlarini qayta ishlash jarayonida hosil bo'ladigan chiqindilar istiqbolli to'ldirgich sifatida ko'rib chiqiladi. Ushbu chiqindi lignosellyulozali tabiatga va tolali tuzilishga ega bo'lib, qurilish kompozitida yengil organik komponent sifatida ishlatilishi mumkin. Biroq sement matritsasida qo'llash uchun u maxsus tayyorlash va yuzaviy mineralizatsiya bosqichlaridan o'tkazilishi zarur.

Adabiyotlar tahlili

Klassik arbolitbeton portlandsement, organik to'ldirgich, suv va kimyoviy mineralizatsiyalovchi

qo'shimchalardan iborat. An'anaviy ravishda to'ldirgich sifatida ignabargli yoki bargli daraxt qirindilari, yog'ochni qayta ishlash chiqindilari, yog'och tolasi, qipiqalar, zig'ir poyasi qoldiqlari, guruch qobig'i, somon, paxta poyasi massasi va boshqa o'simlik materiallari ishlatiladi. To'ldirgich tanlovi yakuniy materialning zichligi, issiqlik o'tkazuvchanligi, mustahkamligi, suv shimuvchanligi va chidamliligiga ta'sir ko'rsatadi.

Vazifasiga ko'ra arbolitbetonlarni bir necha guruhga ajratish mumkin: issiqlik izolyatsion, konstruktiv-issiqlik izolyatsion, konstruktiv, yog'och-sement plita materiallari, g'ovaklashtirilgan arbolit aralashmalari hamda muqobil bog'lovchilar asosidagi kompozitlar. Har bir guruh o'z afzalliklari va cheklovlariga ega. Eng keng tarqalgan tur yog'och qirindili sement asosidagi arbolit bo'lib, u xomashyoning mavjudligi, texnologik soddalik va nisbatan past issiqlik o'tkazuvchanligini birlashtiradi.

Yog'och-sement kompozitlari bo'yicha zamonaviy tadqiqotlar organik to'ldirgichni oldindan ishlov berish va mineral qo'shimchalardan foydalanish barqaror xossalar olishning zarur sharti ekanini ko'rsatadi [4]. Bunday ishlovsiz organik komponentlar sement gidratatsiyasini yomonlashtirishi va mustahkamlik ko'rsatkichlarining tarqoqligiga olib kelishi mumkin.

1-jadval

Mavjud arbolitbeton tarkiblarini tizimlashtirish

Tarkib turi	Asosiy komponentlar	Afzalliklari	Kamchiliklari
Klassik yog'ochli arbolit	Portlandsement, yog'och qirindisi, suv, CaCl ₂ yoki boshqa mineralizatorlar	Past zichlik, yaxshi issiqlik izolyatsiyasi, xomashyoning mavjudligi	Shakarlar va ekstraktiv moddalarning ta'siri, yuqori suv talabi, zaif kontakt zona
Mineral qo'shimchali arbolit	Sement, qirindi, uchuvchi kul, shlak, mikroremnezyom, qum	Sement matritsasining zichlashishi, mustahkamlik va suvga chidamlilikning oshishi	Zichlikning ortishi, tarkib tanlashning murakkablashishi
G'ovaklashtirilgan arbolit	Sement, organik to'ldirgich, ko'pik hosil qiluvchi yoki havo jalb qiluvchi qo'shimcha	Massa va issiqlik o'tkazuvchanlikning kamayishi	Haddan tashqari g'ovaklikda mustahkamlik pasayishi xavfi
Qishloq xo'jaligi chiqindilari asosidagi arbolit	Somon, poya qoldiqlari, guruch qobig'i, paxta poyasi va boshqalar	Mahalliy xomashyodan foydalanish va ekologik samara	Tarkibning yuqori geterogenligi; chiqindini chuqur tayyorlash zarurati
Yog'och-sement plitalar va panellar	Yog'och tolasi, tolalar, sement yoki aralash bog'lovchi	Yaxshi akustik va issiqlik izolyatsion xossalar	Qo'llanish sohasi cheklangan va qoliplash talablari yuqori
Muqobil bog'lovchili arbolit	Magnezial, gipsli, shlak-ishqorli yoki aralash bog'lovchilar	Organik to'ldirgich bilan moslikni yaxshilash imkoniyati	Namlikka sezgirlik, standartlashtirish va sifat nazoratining murakkabligi

Arbolitbetonning asosiy texnologik kamchiligi organik to'ldirgichning sement toshi bilan mos kelmasligidir. O'simlik xomashyosi kapillyar-g'ovak tuzilishga ega va sement gidratatsiyasini susaytirishi mumkin bo'lgan suvda eruvchan moddalarni o'z ichiga oladi. Ayniqsa eruvchan shakarlar va gemisellyuloza parchalanish mahsulotlari zararli bo'lib, ular dastlabki mustahkamlikning shakllanishini kechiktiradi va qotish vaqtini uzaytiradi.

Ikkinchi muhim kamchilik zaif oraliq kontakt zona bilan bog'liq. Yog'och qirindilari yoki boshqa o'simlik to'ldirgichi yuzasi ko'pincha sement xamiri bilan yetarlicha namlanmaydi. Organik zarracha va sement matritsasi orasida kapillyar g'ovaklarga boy bo'shashgan o'tish zonasi hosil bo'ladi. Natijada siqilish va egilishdagi mustahkamlik pasayadi, suv shimuvchanlik ortadi hamda sovuqqa chidamlilik yomonlashadi.

Uchinchi muammo organik to'ldirgichning o'ziga xos beqarorligidir. Arbolitbeton xossalariga o'simlik turi, xomashyoning yoshi, namligi, maydalash darajasi, po'stloq va chang fraksiyasi miqdori, yig'ish mavsumi, saqlash sharoitlari va chiqindining kimyoviy tarkibi ta'sir ko'rsatadi. Hatto sement sarfi bir xil bo'lganda ham turli to'ldirgich partiyalari turlicha mustahkamlik berishi mumkin.

To'rtinchi cheklov sement sarfining ortishidir. Organik karkasning past mustahkamligi va zaif adgeziyani kompensatsiya qilish uchun ishlab chiqaruvchilar ko'pincha sement miqdorini oshiradilar. Bu material tannarxini ko'taradi va ekologik samarani kamaytiradi. Shuning uchun arbolitbetonni zamonaviy rivojlantirish bog'lovchi sarfini oddiy oshirishga emas, balki organik to'ldirgich yuzasini boshqarish va oraliq kontakt zonani zichlashtirishga qaratilishi lozim.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Qizilmiya qayta ishlash chiqindilari biologik faol moddalar, jumladan glitsirizin ajratib olingandan keyin qoladigan qizilmiya ildizi va stolonlari qoldiqlaridan iborat. Ushbu chiqindini shartli ravishda qizilmiya jomi deb atash mumkin. Tabiatiga ko'ra u sellyuloza, gemisellyuloza, lignin va qoldiq ekstraktiv moddalarni o'z ichiga olgan lignosellyulozal materialdir [5].

Qizilmiya jomining arbolitbeton uchun istiqboliligi bir necha omillar bilan izohlanadi. Birinchidan, bu ikkilamchi xomashyo bo'lib, undan foydalanish organik chiqindilar hajmini kamaytiradi. Ikkinchidan, chiqindining tolali tuzilishi yengil to'ldirgich va qisman armaturalovchi komponent vazifasini bajarishi mumkin. Uchinchidan, qizilmiya qayta ishlash sanoat ahamiyatiga ega hududlarda

bunday chiqindi yengil devorbop materiallar ishlab chiqarish uchun mahalliy xomashyo bazasiga aylanishi mumkin.

Shu bilan birga, ishlov berilmagan qizilmiya chiqindisini sement aralashmasiga bevosita kiritish texnologik jihatdan xavflidir. Qoldiq shakarlar, saponinlar, fenolli moddalar, tuzlar va organik kislotalar sement gidratatsiyasini sekinlashtirishi, suv talabini oshirishi va mustahkamlikni kamaytirishi mumkin. Shu sababli qizilmiya jomi qo'llashdan oldin yuvilishi, fraksiyalarga ajratilishi va mineralizatsiya qilinishi zarur.

Taklif etilgan tarkib konstruktiv-issiqlik izolyatsion arbolitbetonlar guruhiga kiradi va M500 portlandsementi, modifikatsiyalangan qizilmiya jomi, mayda dispers mineral qo'shimchalar hamda kompleks mineralizatsiya tizimidan foydalanishni nazarda tutadi. Tarkib loyihaviy-laboratoriya varianti bo'lib, chiqindining haqiqiy namligi, to'kilma zichligi va kimyoviy faolligiga qarab aniqlashtirilishi kerak.

2-jadval

1 m³ aralashma uchun arbolitbetonning loyihaviy tarkibi

Komponent	Taxminiy sarf	Funksional vazifasi
M500 portlandsement	360–390 kg	Asosiy mineral bog'lovchi
Modifikatsiyalangan qizilmiya jomi, quruq massa	150–180 kg	Yengil organik to'ldirgich va tolali karkas
0–2 mm kvars qumi	60–90 kg	Granulometrik barqarorlashtirish va kirishishni kamaytirish
Uchuvchi kul yoki maydalangan granullangan domna shlaki	30–50 kg	Puzzolan qo'shimcha va matritsani zichlashtirish
Mikrokremnezyom	8–15 kg	Kontakt zonani zichlashtirish va adgeziyani yaxshilash
Kalsiy xlorid	sement massasining 1,5–2,0 %	Gidratatsiyani tezlashtirish va organik moddalarning susaytiruvchi ta'sirini kamaytirish
Suyuq shisha	sement massasining 1,0–1,5 %	Organik to'ldirgich yuzasini mineralizatsiya qilish
Superplastifikator	bog'lovchi massasining 0,5–0,8 %	Aralashmaning suv talabini kamaytirish
Suv	250–300 l	To'ldirgich namligini hisobga olgan holda qoliplanuvchan aralashma olish

Metall qo'yilma detallari mavjud bo'lgan mahsulotlarda xloridli qo'shimchalardan foydalanish cheklanishi lozim. Bunday holatda xloridsiz mineralizatsiya tizimidan foydalanish maqsadga muvofiq: sement massasining 2,0–3,0 % miqdorida alyuminiy sulfati, quruq chiqindi massasining 2,0–3,0 % miqdorida kalsiy gidroksidi va sement massasining 1,0–1,5 % miqdorida suyuq shisha. Bunday tizim metallning xloridli korroziyasi xavfisiz eruvchan organik birikmalar ta'sirini kamaytirish imkonini beradi.

Texnologik optimallashtirishdan keyin materialning kutiladigan o'rta zichligi D600–D750 oralig'ida bo'lishi mumkin. Konstruktiv-issiqlik izolyatsion qo'llanish uchun taxminiy siqilishdagi mustahkamlik M25–M35 darajasiga mos kelishi mumkin, biroq ushbu qiymatlar loyihaviy yo'naltiruvchi ko'rsatkichlar bo'lib, tajribaviy tasdiqlashni talab qiladi.

Qizilmiya chiqindisini modifikatsiyalash uchta o'zaro bog'liq vazifani hal qilishi kerak: suvda eruvchan aralashmalar miqdorini olib tashlash yoki kamaytirish; qoldiq organik kislotalar va saponin birikmalarini neytrallashtirish; tolalar yuzasida sement toshi bilan mos keladigan mineral qobiq hosil qilish.

Birinchisi bosqichda chiqindi suv bilan yuviladi. Eruvchan shakarlar, tuzlar va ekstraktiv moddalarning bir

qismini olib tashlash uchun issiq yuvish afzal hisoblanadi. Adabiyot ma'lumotlariga ko'ra, suv bilan takroriy yuvish sikllari qizilmiya chiqindisidan nisbatan toza o'simlik tolalarini olish imkonini beradi; harorat oshishi zarur sikllar sonini kamaytiradi [6]. Ishlab chiqarish sharoitida 60–80 °C da 3–4 marta yuvish siklini qabul qilish, bunda yuvindi suvning pH va elektr o'tkazuvchanligini nazorat qilish maqsadga muvofiq.

Yuvilgandan so'ng chiqindi mexanik siqish, quritish va fraksiyalashga yuboriladi. Arbolitbeton uchun 5–25 mm fraksiya maqsadga muvofiq. Changga o'xshash zarralar olib tashlanishi kerak, chunki ular suv talabini oshiradi va struktura bir xilligini yomonlashtiradi. Haddan tashqari yirik tolali qo'shimchalar ham nomaqbul: ular aralashma qatlamlanishiga olib keladi va qoliplashni qiyinlashtiradi.

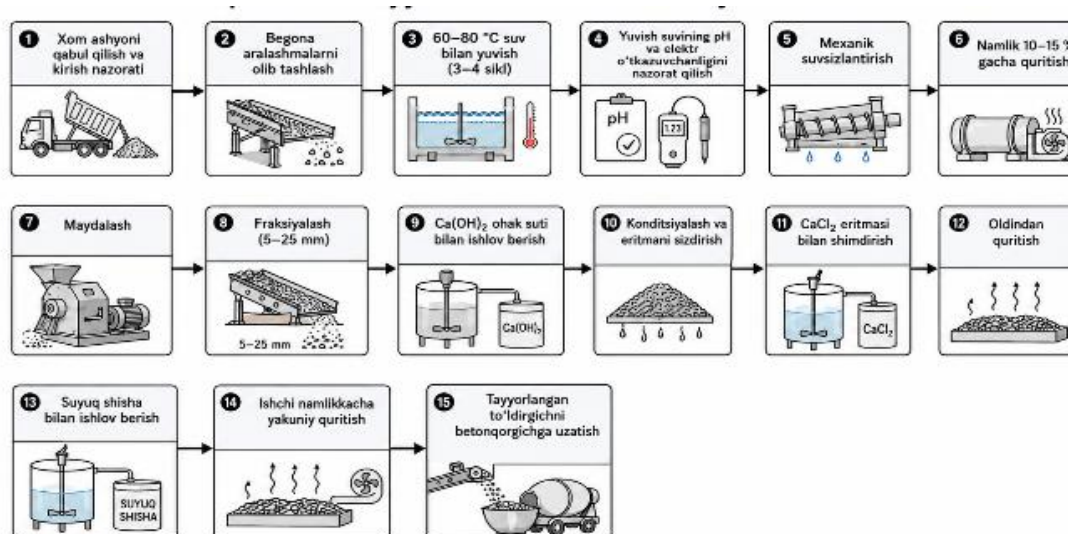
Keyingi bosqich ishqoriy-kalsiyli ishlov berish bo'lib, u quruq chiqindini eritmaga oddiy ivitish shaklida emas, balki kurakli yoki barabanli aralashtirgichda nazorat qilinadigan operatsiya sifatida bajarilishi lozim. Issiq yuvish, siqish, quritish va fraksiyalashdan keyin qizilmiya jomi namligi bo'yicha oldindan konditsiyalanadi. So'ngra zarrachalarga quruq chiqindi massasining 2,0–3,0 % miqdorida Ca(OH)₂ ohak suti purkaladi, 5–7 daqiqa aralashtiriladi va yopiq bunkerda 12–24 soat saqlanadi. Bunday tutib turish kislotali

komponentlarni neytrallash, tolalar yuzasida kalsiyni qisman biriktirish va organik to'ldirgich namligini tenglashtirish uchun zarur.

Yuzaviy mineralizatsiya konsentrlangan CaCl_2 eritmaları va suyuq shishani bevosita ketma-ket aralashtirish emas, balki yupqa mineral qobiq hosil qilish jarayoni sifatida qaralishi kerak. Ularning to'g'ridan-to'g'ri kontakti zarrachalarni notekis qoplaydigan dag'al kalsiy-silikat cho'kmasining tez hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli suyuq shisha suyultirilgan holda yoki mikrokremsnezyomli sement-silikat suspenziyasi tarkibida qo'llanishi, CaCl_2 esa asosan qorishma suvi bilan kiritilishi yoki mineralizatsiya bosqichida past konsentratsiyada purkalishi lozim. Metall qo'yilmaları bo'lgan mahsulotlar uchun alyuminiy sulfati yoki boshqa qotishni tezlashtiruvchi qo'shimcha asosidagi xloridsiz tizim maqsadga muvofiqroq.

Realistik mineralizatsiya ketma-ketligi: yuvilgan va siqilgan qizilmiya jomi → 10–15 % gacha quritish → 5–20 mm gacha fraksiyalash va <1 mm changni olib tashlash → 18–22 % namlikgacha konditsiyalash → $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ohak sutini purkash va aralashtirish → 12–24 soat tutib turish → suyultirilgan suyuq shisha yoki mikrokremsnezyomli sement-silikat suspenziyasini surtish → yupqa qobiq hosil qilish uchun quruq mineral material bilan changlatish → 15–20 % namlikda barqarorlashtirish → arbolitbeton aralashmasiga kiritish.

Mineral qism tarkibiga mikrokremsnezyomni qo'shimcha kiritish kontakt zonani zichlashtirishga qaratilgan. Mayda dispers kremsnezyom sement toshi va organik to'ldirgich orasidagi mikrog'ovaklarni to'ldiradi hamda kalsiy gidroksidi bilan puzzolan reaksiyada ishtirok etadi. Bu kapillyar g'ovaklikni kamaytiradi va arbolitbetonning suvga chidamliligini oshiradi.



Eslatma: suyuq shisha dastlabki kalsiylı ishlov va oldindan quritishdan keyin kiritiladi; CaCl_2 ning konsentrlangan eritmaları va suyuq shisha eritmaları bevosita aralashtirilmaydi.

1-rasm. Arbolitbeton uchun qizilmiya ishlab chiqarish chiqindilarni tayyorlash va mineralizatsiya sxemasi

3. Natijalar va muhokama

Qizilmiya chiqindisi asosidagi arbolitbeton ishlab chiqarish texnologik jarayoni ikki oqimli sxema sifatida tashkil etilishi lozim: modifikatsiyalangan organik to'ldirgich alohida tayyorlanadi, aralashmaning mineral qismi esa alohida dozalanadi. Bunday yondashuv ancha real hisoblanadi, chunki u chiqindi namligini, eruvchan aralashmalarning olib tashlanish darajasini, fraksion tarkibni, mineralizator dozalarini va qorishma suvini kiritish tartibini nazorat qilish imkonini beradi. Aralashma majburiy ta'sirli aralashtirgichda tayyorlanadi, zichlash intensivligi esa organik karkasni buzmaslik va qatlamlanishga olib kelmaslik uchun cheklanadi.

Taklif etilgan sxema to'rtta texnologik blokni o'z ichiga oladi. Birinchi blok qizilmiya jomini ekstraksiyadan keyin qabul qilish, saralash, issiq suvda yuvish va mexanik suvsizlantirish bilan bog'liq. Yuvish formal operatsiya emas; u yuvindi suvning pH va elektr o'tkazuvchanligi barqarorlashguncha olib boriladi, chunki eruvchan shakarlar, tuzlar va ekstraktiv moddalar sementning normal

gidratatsiyasiga eng kuchli xalaqit beradigan komponentlardir.

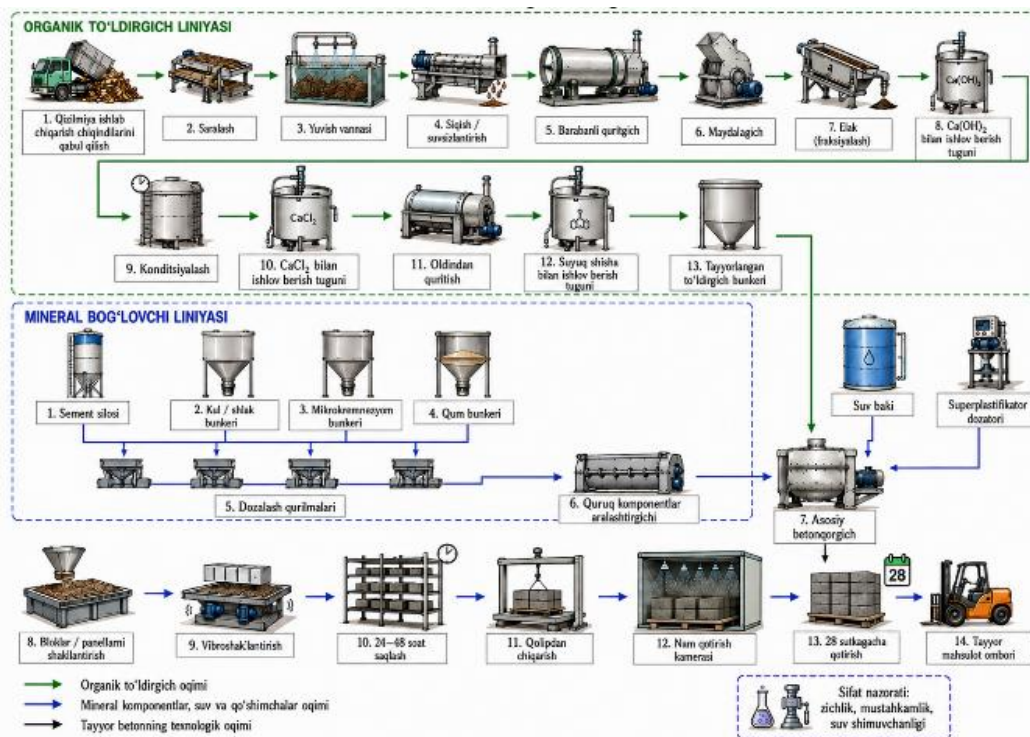
Ikkinchi blok o'rtacha haroratda quritish, maydalash, fraksiyalash, chang fraksiyasini olib tashlash va dastlabki kimyoviy barqarorlashtirishni o'z ichiga oladi. Amaliy jihatdan 5–20 mm fraksiyadan foydalanish maqsadga muvofiq; mayda chang suv talabini keskin oshiradi, haddan tashqari uzun tolalar esa qoliplashni yomonlashtiradi. Ohak sutini bilan ishlov berishdan oldin to'ldirgich nazorat qilinadigan namlikka ega bo'lishi kerak, shunda eritma yuzadan shunchaki oqib ketmaydi, balki tolalar bo'yab bir tekis tarqaladi.

Uchinchi blok oddiy shimdirishni emas, balki zarracha yuzasida yupqa mineral qobiq hosil qilishni nazarda tutadi. Buning uchun suyultirilgan suyuq shisha yoki mikrokremsnezyomli sement-silikat suspenziyasi ishlatiladi; so'ng to'ldirgich quruq mineral komponentning bir qismi bilan changlatiladi. Ushbu operatsiya suv shimuvchanlikni kamaytiradi, sement xamiri bilan namlanishni yaxshilaydi va qoldiq organik moddalarning sement g'ovak eritmasiga chiqishini pasaytiradi.



To'rtinchi blok arbolitbeton aralashmasini tayyorlash, qoliplash, yumshoq vibrozichlash yoki presslash, namlikni saqlovchi qoplama ostida dastlabki qotirish va 28 kungacha keyingi saqlashni o'z ichiga oladi. Eng real aralashtirish tartibi quyidagicha: modifikatsiyalangan to'ldirgich suvning

bir qismi va plastifikatsiyalovchi qo'shimcha bilan aralashiriladi; keyin quruq mineral qism kiritiladi; shundan so'ng qoliplanuvchanlik talabiga muvofiq qolgan suv miqdori sozlanadi. Bunday tartib organik zarrachalarning sement xamiri bilan bir tekis qoplanishini ta'minlaydi.



2-rasm. Qizilmiya ishlab chiqarish chiqindilari asosida modifiyatsiyalangan arbolitbeton olishning texnologik sxemasi

Modifikatsiyalangan arbolitbetonda mustahkamlikni oshirish mexanizmi organik aralashmalarning salbiy ta'sirini ketma-ket kamaytirish va oraliq kontakt zonani mustahkamlashga asoslanadi. Issiq suvda yuvish eruvchan shakarlar, tuzlar va ekstraktiv moddalarning bir qismini kamaytiradi. Bu sement gidratatsiyasining sekinlashish ehtimolini pasaytiradi va dastlabki mustahkamlikning barqarorroq shakllanishiga yordam beradi.

Ishqoriy-kalsiyli ishlov berish yuzani kimyoviy barqarorlashtirish vazifasini bajaradi. Kalsiy gidroksidi kislotali komponentlarni qisman neytrallaydi, yuzani kalsiy ionlari bilan to'yintiradi va silikatli mineralizator bilan o'zaro ta'sirga tayyorlaydi. Keyingi suyuq shisha yoki silikat komponenti bilan ishlov berish organik to'ldirgichning adgeziyon faolligini oshiruvchi mineral qobiq hosil qiladi.

Mineral qobiq qizilmiya jomining suv shimuvchanligini kamaytiradi va qoldiq organik moddalarning sement xamiriga migratsiyasini pasaytiradi. Natijada sement matritsasi bir tekisroq qotadi, o'tish zonasi esa kamroq bo'shashgan bo'ladi. Mikrokremsnezyom kiritilganda g'ovak tuzilma qo'shimcha ravishda zichlashadi, bu materialning mustahkamligi, suvga chidamliligi va uzoq muddatli xizmat xossalari ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Shunday qilib, taklif etilgan tarkib an'anaviy arbolitdan nafaqat to'ldirgich turi bilan, balki o'simlik xomashyosini tayyorlash prinsipi bilan ham farq qiladi. Asosiy g'oya shundan iboratki, organik chiqindi sement matritsasiga boshlang'ich holatida emas, balki maqsadli tozalash va mineralizatsiyadan keyin kiritilishi kerak.

4. Xulosa

Tahlil shuni ko'rsatadiki, mavjud arbolitbeton tarkiblari energiya samarador va kam qavatli qurilish uchun katta imkoniyatlarga ega, biroq ularning keng qo'llanilishi organik to'ldirgich tabiatiga bog'liq cheklorlar bilan izohlanadi. Eng xarakterli kamchiliklar sement toshi va o'simlik to'ldirgichi orasidagi zaif adgeziya, yuqori suv shimuvchanlik, xomashyo beqarorligi hamda suvda eruvchan shakarlar va ekstraktiv moddalarning sement gidratatsiyasiga salbiy ta'siridir.

Istiqbolli xomashyo yechimi sifatida qizilmiya qayta ishlash chiqindilaridan foydalanish taklif etiladi. Qizilmiya jomi to'liq tuzilishga ega lignosellyulozali material bo'lib, yengil organik to'ldirgich vazifasini bajarishi mumkin. Biroq mustahkamlikni kamaytirishi va qotishni sekinlashtirishi mumkin bo'lgan qoldiq organik birikmalar mavjudligi sababli uni sement tizimida bevosita qo'llash maqsadga muvofiq emas.

Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish uchun qizilmiya chiqindisini tayyorlash va modifikatsiyalash texnologik sxemasi ishlab chiqildi. U yuvish, suvsizlantirish, quritish, fraksiyalash, ishqoriy-kalsiyli ishlov berish va yuzaviy mineralizatsiya bosqichlarini o'z ichiga oladi. Taklif etilgan sxema sement matritsasi bilan adgeziyani oshirish, organik to'ldirgichning suv shimuvchanligini kamaytirish va kimyoviy aralashmalarning salbiy ta'sirini pasaytirishga qaratilgan.

M500 portlandsementi, modifikatsiyalangan qizilmiya jomi, uchuvchi kul yoki shlak, mikroremnezyom, suyuq shisha va kalsiyli mineralizator asosidagi taklif etilgan tarkib ekologik samarali konstruktiv-issiqlik izolyatsion arbolitbeton olish uchun asos sifatida qaralishi mumkin. Yondashuvning ilmiy yangiligi qizilmiya qayta ishlash chiqindisini passiv to'ldirgich sifatida emas, balki sement toshi bilan mosligi yaxshilangan oldindan modifikatsiyalangan organomineral komponent sifatida ishlatishda namoyon bo'ladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] GOST 19222-2019. Arbolit va undan tayyorlangan mahsulotlar. Umumiy texnik shartlar.
- [2] Karade S.R. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24(8). P. 1323-1330. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.003.
- [3] Moslemi A.A., Garcia J.F., Hofstrand A.D. Effect of Various Treatments and Additives on Wood-Portland Cement-Water Systems // Wood and Fiber Science. 1983. Vol. 15(2). P. 164-176.
- [4] Brahmia F.Z., Horvath P.G., Alpar T.L. Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composite: A review // BioResources. 2020. Vol. 15(3). P. 7288-7308.
- [5] Santulli C., Rallini M., Puglia D., Gabrielli S., Torre L., Marcantoni E. Characterization of Licorice Root Waste for Prospective Use as Filler in more Eco-Friendly Composite Materials // Processes. 2020. Vol. 8(6). Article 733. DOI: 10.3390/pr8060733.
- [6] Madeo L., Macario A., Candamano S., De Luca P. Recovery of Vegetable Fibers from Licorice Processing

Waste and a Case Study for Their Use in Green Building Products // Clean Technologies. 2025. Vol. 7(3). Article 55. DOI: 10.3390/cleantechnol7030055.

[7] Vaickelionis G., Vaickelioniene R. Cement hydration in the presence of wood extractives and pozzolan mineral additives // Ceramics-Silikaty. 2006. Vol. 50(2). P. 115-122.

[8] Na B., Wang Z., Wang H., Lu X. Wood-cement compatibility review // Wood Research. 2014. Vol. 59(5). P. 813-826.

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

Soy Vladimir Mikhailovich / Vladimir Soy	Toshkent davlat transport universiteti, professor (DSc) E-mail: volodya_tsoy@inbox.ru https://orcid.org/0009-0002-5945-2565
Eshbekov Shukhrat Gadoymurotovich / Shukhrat Eshbekov	Toshkent davlat transport universiteti, assistant E-mail: sh.eshbekov77@gmail.com https://orcid.org/0009-0004-4916-2577
Jumageldiev Aziz Olimovich / Aziz Jumageldiev	Toshkent davlat transport universiteti universiteti magistranti E-mail: jumageldiyeveziz@gmail.com
Turgayev Janbul Adilbaevich / Janbul Turgayev	Qoraqalpoq davlat universiteti, professor (DSc) E-mail: jambulturgayev46@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-2483-9727



Economic assessment of the impact of thematic tourist routes on the development of the regional tourism services market

N.S. Sarvirova¹^a, D.Y. Tajibaev¹^b, Z.B. Kamoliddinov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the economic impact of thematic tourist routes on the development of the regional tourism services market. The relevance of the study is determined by the need to assess a route not only as a sequence of tourist attractions, but also as a complex tourist product that generates additional demand for transport, accommodation, catering, excursion support and related services. The aim of the study is to justify an approach for evaluating the economic effect of implementing thematic routes in a region. The proposed approach is based on determining the baseline tourist flow, scenario-based growth, average tourist expenditure and additional volume of tourism services. The scientific significance of the study lies in interpreting thematic routes as an economic and service-oriented instrument for regional development. The practical significance consists in the possibility of using the proposed approach by tourism authorities, travel companies and service providers when forecasting the economic outcomes of thematic route development.

Keywords: thematic tourist route, tourist flow, regional services market, economic efficiency, tourism services, economic effect

Экономическая оценка влияния тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг

Сарвирова Н.С.¹^a, Тажибаев Д.Е.¹^b, Камолитдинов З.Б.¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматривается экономическое влияние тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг. Актуальность исследования определяется необходимостью оценки маршрута не только как схемы посещения туристских объектов, но и как комплексного туристского продукта, формирующего дополнительный спрос на транспорт, размещение, питание, экскурсионное сопровождение и другие сервисные услуги. Целью исследования является обоснование подхода к оценке экономического эффекта от внедрения тематических маршрутов в регионе. В работе предложена расчётная логика, основанная на определении базового туристского потока, сценарного прироста, среднего объёма расходов одного туриста и дополнительного объёма туристских услуг. Научная значимость исследования заключается в рассмотрении тематического маршрута как экономико-сервисного инструмента развития региональной экономики. Практическая значимость состоит в возможности использования предложенного подхода органами управления туризмом, туристскими компаниями и сервисными предприятиями при прогнозировании экономического результата от развития тематической маршрутизации.

Ключевые слова: тематический туристский маршрут, туристский поток, региональный рынок услуг, экономическая эффективность, туристские услуги, экономический эффект

1. Введение

Развитие регионального туризма в современных условиях всё в большей степени связано не только с наличием туристских объектов, но и с возможностью их включения в экономически результативные туристские продукты. Отдельные объекты культурного, исторического, археологического, экологического или

этнографического значения сами по себе не всегда обеспечивают устойчивый туристский поток и достаточный уровень потребления туристских услуг. Их экономическая значимость возрастает тогда, когда они объединяются в тематические туристские маршруты, способные формировать спрос на транспорт, размещение, питание, экскурсионное сопровождение,

^a <https://orcid.org/0009-0008-9683-8321>

^b <https://orcid.org/0009-0007-9032-5114>

^c <https://orcid.org/0009-0001-8264-2183>



услуги гидов, информационное обеспечение и другие элементы регионального рынка услуг.

Для регионов с пространственно разобщёнными туристскими объектами данная проблема имеет особую актуальность. В таких условиях туристская привлекательность территории зависит не только от количества и уникальности объектов, но и от того, насколько они организационно связаны между собой, обеспечены транспортной доступностью, сервисной инфраструктурой и возможностью практического посещения. Поэтому тематический маршрут следует рассматривать не только как схему перемещения туристов, но и как экономико-сервисный механизм, влияющий на формирование дополнительного туристского потока и рост объёма оказываемых услуг.

Несмотря на наличие значительного количества исследований, посвящённых туристской маршрутизации, культурным маршрутам, транспортной доступности и оценке туристской привлекательности объектов, вопрос экономического влияния тематических маршрутов на региональный рынок туристских услуг остаётся недостаточно раскрытым. Во многих работах основное внимание уделяется выбору объектов, построению маршрута или оценке его удобства для туриста. При этом экономический результат маршрутизации, выражающийся в росте туристского потока, увеличении продолжительности пребывания туристов и расширении спроса на услуги региона, часто рассматривается фрагментарно.

В этой связи возникает необходимость разработки подхода, позволяющего оценивать тематический туристский маршрут как инструмент развития региональной экономики услуг. Такой подход должен учитывать базовый туристский поток, возможный сценарный прирост за счёт внедрения тематической маршрутизации, средний объём расходов одного туриста и дополнительный объём туристских услуг. Это позволяет определить не только организационную целесообразность маршрута, но и его экономическую отдачу для региона.

Целью настоящей статьи является экономическая оценка влияния тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг. Для достижения данной цели в статье рассматривается тематический маршрут как комплексный туристский продукт, формирующий дополнительный спрос на транспортные, гостиничные, ресторанные, экскурсионные и сопутствующие сервисные услуги.

Научная значимость исследования заключается в обосновании тематического туристского маршрута как экономико-сервисного инструмента развития региона. Практическая значимость состоит в возможности использования предложенного подхода органами управления туризмом, туристскими компаниями, транспортными организациями, гостиничными предприятиями и сервисными структурами при прогнозировании экономического результата от развития тематической маршрутизации.

Обзор литературных источников

Проблема оценки экономического влияния тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг находится на пересечении нескольких научных направлений: экономики туризма, регионального развития, формирования туристского продукта, сервисного

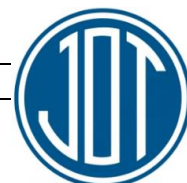
менеджмента, культурных маршрутов и прогнозирования туристского потока.

Нормативно-правовую основу исследования составляют документы Республики Узбекистан, направленные на развитие туризма, внутреннего и паломнического туризма, а также сохранение и использование объектов культурного и археологического наследия. Закон Республики Узбекистан «О туризме» определяет правовые основы организации туристской деятельности и развития туристских услуг [1]. Законы об охране объектов культурного и археологического наследия создают правовую базу для включения объектов наследия в туристский оборот [2, 3]. Указ Президента Республики Узбекистан от 09.02.2021 № УП-6165 подчёркивает необходимость дальнейшего развития внутреннего и паломнического туризма, что имеет прямое значение для формирования тематических маршрутов как инструмента регионального туристского развития [4].

В международной научной литературе туризм рассматривается как один из факторов развития региональной экономики и сферы услуг. В работах D. Buhalis туристская дестинация представлена как комплексная система, включающая туристские ресурсы, инфраструктуру, сервис, управление и продвижение [5]. J.R.B. Ritchie и G.I. Crouch подчёркивают, что конкурентоспособность туристской территории формируется не только за счёт наличия ресурсов, но и за счёт способности региона превращать эти ресурсы в целостный туристский продукт [6]. Данный подход важен для настоящего исследования, поскольку тематический маршрут рассматривается не как отдельная экскурсионная схема, а как экономически значимый продукт регионального рынка туристских услуг.

Существенное значение имеют исследования, посвящённые культурным и тематическим маршрутам. В материалах Council of Europe культурный маршрут рассматривается как система, объединяющая объекты наследия, территорию, участников, сервисную инфраструктуру и механизмы продвижения [7, 8]. В докладе UN Tourism “Cultural Routes and Itineraries” культурные маршруты рассматриваются как инструмент территориального развития, повышения туристской привлекательности и вовлечения местных сообществ в экономику туризма [9]. Это позволяет обосновать, что тематические маршруты могут выступать не только средством показа туристских объектов, но и механизмом увеличения спроса на транспортные, гостиничные, ресторанные, экскурсионные и сопутствующие услуги.

В работах M.V. Shishmanova культурные маршруты анализируются как элементы регионального развития, способные объединять культурные коридоры, территории и локальные туристские ресурсы в единую сеть [10]. S. Božić, J. Kennell, M. Vujčić и T. Jovanović предлагают рассматривать культурный маршрут с позиции мотивации туристов и оценки его целостности как туристского продукта [11]. О.Е. Афанасьев и А.В. Афанасьева исследуют брендовые туристские маршруты, их признаки, типологию и мировые практики применения [12]. Эти исследования подтверждают, что тематический маршрут способен формировать не только туристскую привлекательность территории, но и экономический эффект за счёт



повышения узнаваемости региона и расширения потребления туристских услуг.

Отдельное направление исследований связано с формированием туристского продукта и сервисной экономики. В работах P. Kotler, J. Bowen, J. Makens и S. Baloglu туристский продукт рассматривается как совокупность услуг и впечатлений, формирующих ценность для потребителя [13]. A. Parasuraman, V.A. Zeithaml и L.L. Berry предложили модель SERVQUAL, позволяющую оценивать качество услуг через восприятие потребителя [14]. С. Grönroos рассматривает сервисное управление как основу создания потребительской ценности и конкурентных преимуществ предприятий сферы услуг [15]. Эти подходы позволяют рассматривать тематический маршрут как комплексную туристскую услугу, включающую транспорт, размещение, питание, экскурсионное сопровождение, информационную поддержку и дополнительные сервисы.

Вопросы экономического эффекта туризма раскрываются в работах, посвящённых влиянию туристского потока на региональное развитие. Экономический результат туризма проявляется через прямые, косвенные и индуцированные эффекты: рост доходов предприятий, увеличение занятости, расширение спроса на местные услуги, развитие малого бизнеса и повышение загрузки инфраструктуры. Для тематических туристских маршрутов это особенно важно, поскольку маршрут объединяет несколько видов услуг и формирует мультипликативный эффект в региональной экономике.

Значительное место в исследованиях занимают вопросы туристского потока и расходов туристов. Рост туристского потока сам по себе не всегда обеспечивает высокий экономический результат, если туристы не задерживаются в регионе и не потребляют местные услуги. Поэтому при оценке эффективности тематических маршрутов необходимо учитывать не только количество туристов, но и средний объём расходов одного туриста, продолжительность пребывания, структуру потребления и вовлечённость местных сервисных предприятий. Такой подход позволяет перейти от количественной оценки туристских прибытий к оценке реального вклада маршрута в региональный рынок услуг.

В отечественной и региональной научной литературе вопросы развития туризма, туристского потенциала, культурно-познавательных маршрутов, транспортной доступности и туристской инфраструктуры рассматриваются в работах исследователей, занимающихся проблемами регионального туризма и экономики услуг. Однако в большинстве исследований экономический эффект тематической маршрутизации рассматривается недостаточно системно. Чаще всего анализируются туристские ресурсы, привлекательность объектов, транспортные условия или организационные вопросы маршрута. При этом механизм расчёта дополнительного объёма туристских услуг, формируемого за счёт внедрения тематического маршрута, требует дальнейшего уточнения.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что в научной литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы туристского продукта, культурных маршрутов, конкурентоспособности

дестинаций, качества сервисного обслуживания и общего влияния туризма на экономику региона. Вместе с тем недостаточно раскрыт подход к количественной оценке влияния тематических туристских маршрутов на региональный рынок услуг через прирост туристского потока, средние расходы туристов и дополнительный объём туристских услуг. Именно данный научный пробел определяет необходимость разработки расчётного подхода к экономической оценке тематической маршрутизации региона.

2. Методика исследования

Методологической основой исследования является экономико-сервисный подход к оценке влияния тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг. В рамках данного подхода тематический маршрут рассматривается не только как последовательность туристских объектов, но и как комплексный туристский продукт, формирующий дополнительный спрос на транспортные, гостиничные, ресторанные, экскурсионные, информационные и сопутствующие сервисные услуги.

Информационной базой исследования выступают данные о туристском потоке региона, прогнозных показателях развития туризма, средней величине расходов одного туриста, структуре туристских услуг, а также сценарные параметры прироста туристского потока за счёт внедрения тематической маршрутизации. В качестве расчётной основы используется сопоставление базового сценария развития туризма и сценария с учётом формирования тематических туристских маршрутов.

В исследовании применены методы системного анализа, сравнительного анализа, экономико-сервисного моделирования, сценарного прогнозирования и расчёта дополнительного экономического эффекта. Системный анализ позволяет рассматривать тематический маршрут как элемент региональной экономики услуг. С сравнительный анализ используется для сопоставления базового и маршрутного сценариев развития туристского потока. Сценарный подход позволяет определить возможный прирост туристского потока при внедрении тематической маршрутизации.

Базовый туристский поток региона обозначается как:

$$T_t^0,$$

где T_t^0 – туристский поток в базовом сценарии в период t , без дополнительного эффекта тематической маршрутизации.

Туристский поток с учётом развития тематических маршрутов определяется по формуле:

$$T_t^m = T_t^0(1 + k), \quad (1)$$

где T_t^m – туристский поток с учётом внедрения тематических маршрутов;

T_t^0 – базовый туристский поток;

k – сценарный коэффициент прироста туристского потока за счёт тематической маршрутизации.

Абсолютный прирост туристского потока определяется следующим образом:

$$\Delta T_t = T_t^m - T_t^0, \quad (2)$$

где ΔT_t – дополнительный туристский поток,



сформированный за счёт внедрения тематических маршрутов.

Объём туристских услуг в регионе рассчитывается как произведение туристского потока и среднего объёма расходов одного туриста:

$$X_t = T_t \cdot \bar{P}_t \quad (3)$$

где X_t – объём туристских услуг;

T_t – туристский поток;

$\bar{P}_t$ – средний объём расходов одного туриста.

Базовый объём туристских услуг определяется по формуле:

$$X_t^0 = T_t^0 \cdot \bar{P}_t \quad (4)$$

а объём туристских услуг с учётом тематической маршрутизации:

$$X_t^m = T_t^m \cdot \bar{P}_t \quad (5)$$

Дополнительный экономический эффект от внедрения тематических маршрутов определяется как разница между маршрутным и базовым сценариями:

$$\Delta X_t = X_t^m - X_t^0 \quad (6)$$

Если средний расход одного туриста принимается неизменным, то дополнительный экономический эффект может быть выражен через сценарный коэффициент прироста:

$$\Delta X_t = X_t^0 \cdot k \quad (7)$$

Предложенная расчётная схема позволяет определить, каким образом тематические туристские маршруты влияют на региональный рынок туристских услуг. Экономический эффект проявляется через увеличение туристского потока, рост объёма потребления услуг размещения, питания, транспорта, экскурсионного сопровождения, услуг гидов и других сервисных направлений. Таким образом, методика позволяет оценивать тематическую маршрутизацию не только как организационный инструмент развития туризма, но и как фактор расширения региональной экономики услуг.

3. Результаты и Обсуждение

Для оценки экономического влияния тематических туристских маршрутов на региональный рынок туристских услуг использован сценарный подход. В качестве базового варианта рассматривается развитие туристского потока без дополнительного эффекта тематической маршрутизации. Второй вариант предполагает внедрение тематических туристских маршрутов, позволяющих увеличить туристский поток, продолжительность пребывания туристов и объём потребления региональных услуг.

В качестве сценарного параметра принят коэффициент прироста туристского потока за счёт развития тематических маршрутов:

$$k = 0,10.$$

Это означает, что внедрение тематической маршрутизации может обеспечить дополнительный прирост туристского потока на 10 % по сравнению с базовым сценарием.

При базовом прогнозном туристском потоке к 2030 году:

$$T_{2030}^0 = 2512,6 \text{ тыс. чел.}$$

туристский поток с учётом тематической маршрутизации составит:

$$T_{2030}^m = T_{2030}^0 (1 + k) = 2512,6 \cdot 1,10 = 2763,9 \text{ тыс. чел}$$

Абсолютный прирост туристского потока определяется следующим образом:

$$\Delta T_{2030} = T_{2030}^m - T_{2030}^0 = 2763,9 - 2512,6 = 251,3 \text{ тыс. чел.}$$

Следовательно, развитие тематических туристских маршрутов может обеспечить дополнительное привлечение около **251,3 тыс. туристов** к 2030 году.

Таблица 1

Прогноз туристского потока с учётом тематической маршрутизации к 2030 году

Показатель	Базовый сценарий	Сценарий с тематическими маршрутами	Прирост
Туристский поток, тыс. чел.	2512,6	2763,9	251,3
Сценарный коэффициент прироста	—	10 %	—

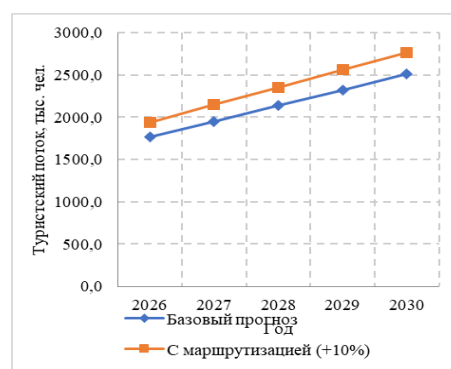


Рис. 1. Прогноз туристского потока при развитии тематической маршрутизации до 2030 года

Как видно из рисунка 1, развитие тематической маршрутизации обеспечивает более высокий прогнозный уровень туристского потока по сравнению с базовым сценарием. При сценарном коэффициенте прироста $k=0,10$ туристский поток к 2030 году увеличивается с 2512,6 тыс. чел. до 2763,9 тыс. чел. Это показывает, что тематические маршруты могут выступать инструментом дополнительного привлечения туристов и повышения устойчивости регионального туристского спроса.

Экономический эффект от роста туристского потока проявляется через увеличение объёма туристских услуг. При базовом объёме туристских услуг к 2030 году:

$$X_{2030}^0 = 39,97 \text{ млн долл. США}$$

объём туристских услуг с учётом внедрения тематических маршрутов составит:

$$X_{2030}^m = X_{2030}^0 (1 + k) = 39,97 \cdot 1,10 = 43,97 \text{ млн долл. США}$$

Дополнительный экономический эффект определяется по формуле:

$$\Delta X_{2030} = X_{2030}^m - X_{2030}^0 = 43,97 - 39,97 = 4,00 \text{ млн долл. США}$$

Таким образом, к 2030 году внедрение тематических туристских маршрутов может обеспечить дополнительный годовой экономический эффект в размере около **4,00 млн долл. США**.

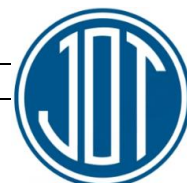


Таблица 2
Экономический эффект от внедрения тематических туристских маршрутов к 2030 году

Показатель	Базовый сценарий	Сценарий с тематическими маршрутами	Дополнительный эффект
Объём туристских услуг, млн долл. США	39,97	43,97	4,00
Прирост объёма туристских услуг	—	10 %	—

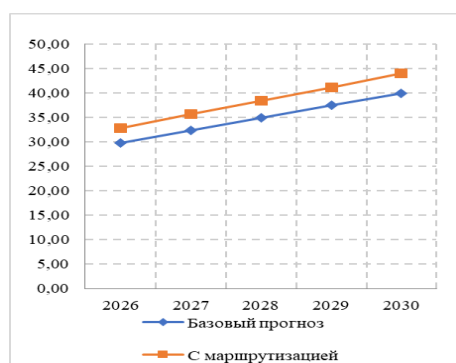


Рис. 2. Прогноз экономического эффекта развития тематических туристских маршрутов до 2030 года

Рисунок 2 показывает прогнозный рост экономического эффекта от развития тематических туристских маршрутов. Увеличение туристского потока приводит к расширению объёма туристских услуг, включая транспортное обслуживание, размещение, питание, экскурсионное сопровождение, услуги гидов и другие элементы регионального рынка сервиса. К 2030 году дополнительный годовой экономический эффект может составить около 4,00 млн долл. США, а совокупный дополнительный объём туристских услуг за 2026–2030 годы – около 17,45 млн долл. США.

Полученные результаты показывают, что тематическая маршрутизация оказывает влияние не только на количество туристов, но и на структуру регионального потребления. Дополнительный туристский поток формирует спрос на транспортные услуги, размещение, питание, экскурсионное обслуживание, услуги гидов, информационное сопровождение, сувенирную продукцию и другие элементы регионального рынка услуг.

Экономический эффект тематических маршрутов имеет комплексный характер. Во-первых, увеличивается число туристов, посещающих регион. Во-вторых, возрастает продолжительность их пребывания за счёт многодневной организации маршрута. В-третьих, расширяется потребление услуг, так как маршрут связывает туристские объекты с транспортной, гостиничной, ресторанной и экскурсионной инфраструктурой. В-четвёртых, создаются дополнительные возможности для

вовлечения местных сервисных предприятий в туристский оборот.

Если учитывать совокупный эффект за период 2026–2030 годов, то дополнительный объём туристских услуг может составить около:

$$\Sigma \Delta X_{2026-2030} = 17,45 \text{ млн долл. США.}$$

Данный результат показывает, что тематические туристские маршруты могут рассматриваться как инструмент не только повышения туристской привлекательности региона, но и расширения региональной экономики услуг. Их внедрение позволяет перейти от фрагментарного посещения отдельных объектов к формированию устойчивого туристского продукта, создающего дополнительную стоимость в смежных секторах экономики.

Таким образом, расчётные результаты подтверждают, что тематическая маршрутизация способствует росту туристского потока, увеличению объёма туристских услуг и формированию дополнительного экономического эффекта. Это позволяет рассматривать тематические маршруты как один из организационно-экономических механизмов развития регионального туризма и сервисной экономики.

4. Заключение

В статье рассмотрено экономическое влияние тематических туристских маршрутов на развитие регионального рынка туристских услуг. Обосновано, что тематический маршрут должен рассматриваться не только как схема посещения туристских объектов, но и как комплексный туристский продукт, способный формировать дополнительный спрос на транспорт, размещение, питание, экскурсионное сопровождение, услуги гидов, информационную поддержку и другие элементы региональной сервисной экономики.

Предложенный расчётный подход основан на сопоставлении базового сценария развития туристского потока и сценария с учётом внедрения тематической маршрутизации. В качестве основных расчётных показателей использованы базовый туристский поток, сценарный коэффициент прироста, туристский поток с учётом тематических маршрутов, объём туристских услуг и дополнительный экономический эффект. Такой подход позволяет количественно оценивать вклад тематических маршрутов в развитие регионального рынка услуг.

Расчётные результаты показывают, что при сценарном приросте туристского потока на 10 % к 2030 году дополнительный туристский поток может составить около 251,3 тыс. человек. При этом объём туристских услуг может увеличиться с 39,97 млн долл. США до 43,97 млн долл. США, а дополнительный годовой экономический эффект составит около 4,00 млн долл. США. Совокупный дополнительный объём туристских услуг за период 2026–2030 годов может достигнуть 17,45 млн долл. США.

Научная значимость исследования заключается в том, что тематический туристский маршрут рассматривается как экономико-сервисный инструмент развития региона, а не только как организационная форма посещения объектов. Практическая значимость состоит в возможности применения предложенного подхода органами управления туризмом, туристскими

компаниями, транспортными организациями, гостиничными предприятиями и сервисными структурами при прогнозировании экономического результата от внедрения тематических маршрутов.

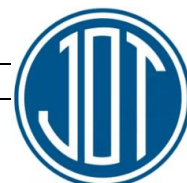
Таким образом, развитие тематических туристских маршрутов способствует росту туристского потока, увеличению объема туристских услуг, повышению загрузки региональной инфраструктуры и расширению экономической активности в сфере сервиса. Полученные результаты подтверждают, что тематическая маршрутизация может выступать одним из эффективных организационно-экономических механизмов развития регионального туризма и повышения конкурентоспособности туристского продукта региона.

Использованная литература / References

- [1] Закон Республики Узбекистан «О туризме» от 18.07.2019 № ЗРУ-549.
- [2] Закон Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов культурного наследия» от 30.08.2001 № 269-II.
- [3] Закон Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов археологического наследия» от 13.10.2009 № ЗРУ-229.
- [4] Указ Президента Республики Узбекистан от 09.02.2021 № УП-6165 «О мерах по дальнейшему развитию внутреннего и паломнического туризма в Республике Узбекистан».
- [5] Buhalis D. Marketing the competitive destination of the future // *Tourism Management*. 2000. Vol. 21. No. 1. P. 97–116.
- [6] Ritchie J. R. B., Crouch G. I. *The Competitive Destination: A Sustainable Tourism Perspective*. Wallingford: CABI Publishing, 2003.
- [7] 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.
- [8] Council of Europe. *Cultural Routes of the Council of Europe. Booklet for Cultural Routes*. Strasbourg: Council of Europe, 2024.
- [9] UN Tourism. *Affiliate Members Global Report*, Vol. 12: Cultural Routes and Itineraries. Madrid: UN Tourism, 2015.
- [10] 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.
- [11] Božić S., Kennell J., Vujičić 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.
- [12] 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.
- [13] Kotler P., Bowen J. T., Makens J. C., Baloglu S. *Marketing for Hospitality and Tourism*. 8th ed. Harlow: Pearson, 2021.
- [14] Parasuraman A., Zeithaml V. A., Berry L. L. SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality // *Journal of Retailing*. 1988. Vol. 64. No. 1. P. 12–40.
- [15] Grönroos C. *Service Management and Marketing: Customer Management in Service Competition*. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2007.
- [16] Porter M. E. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press, 1985.
- [17] Frechtling D. C. *Forecasting Tourism Demand: Methods and Strategies*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [18] Song H., Li G. Tourism demand modelling and forecasting: A review of recent research // *Tourism Management*. 2008. Vol. 29. No. 2. P. 203–220.
- [19] Dwyer L., Forsyth P., Spurr R. Evaluating tourism's economic effects: new and old approaches // *Tourism Management*. 2004. Vol. 25. No. 3. P. 307–317.
- [20] Vanhove N. *The Economics of Tourism Destinations: Theory and Practice*. 3rd ed. London: Routledge, 2018.
- [21] Sarvirova N. S., Tajibaev D. Y. Selection of optimal mixed routes based on fuzzy hierarchy and multi-criteria decision making with five criteria // *Journal of Transport*. 2026. Vol. 3. No. 1. P. 37–44.
- [22] Sarvirova N. S., Tajibaev D. Y., Khakimov D. K. Formalized selection of sites for the ancient Khorezm branded tourist route in Karakalpakstan // *Journal of Transport*. 2026. Vol. 3. No. 2. P. 86–91.

Информация об авторах/ Information about the authors

Сарвирова Наталья / Natalya Sarvirova	Ташкентский государственный транспортный университет, профессор кафедры “Транспортная логистика” E-mail: sergeyevnanatalya298@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
Камолиддинов Зиявуддин / Ziyavuddin Kamoliddinov	Ташкентский государственный транспортный университет, докторант кафедры “Транспортная логистика” E-mail: kamoliddiziyo1331@gmail.com Tel.: +998909667323 https://orcid.org/0009-0001-8264-2183



An organizational and economic methodology for developing regional thematic tourist routes

D.Y. Tajibaev¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article develops an organizational and economic methodology for forming regional thematic tourist routes as complex tourist products. The relevance of the study is determined by the need to transform individual tourist attractions into service-oriented routes that combine transport accessibility, accommodation, catering, excursion services, risk assessment, information support and economic results. The proposed methodology is based on a staged approach that covers the entire process of route formation: defining the concept of the route, collecting regional data, classifying tourist objects, forming evaluation criteria and risk factors, selecting transport scenarios, developing basic and extended route formats, organizing the route by days, linking it with accommodation and service points, and assessing its practical and economic efficiency.

The scientific novelty of the study lies in the integration of organizational, service, transport-logistic and economic components into a single methodological framework. Unlike traditional approaches that consider a route mainly as a sequence of tourist objects, the proposed methodology treats it as an adaptive regional tourist product. This makes it possible to form both compact and extended route formats depending on available time, infrastructure conditions, service capacity and risk level. The methodology can be used by tourism authorities, travel companies, transport organizations and service providers for developing competitive thematic tourist routes and increasing the economic efficiency of regional tourism.

Keywords:

thematic tourist route, regional tourism, tourist product, organizational and economic methodology, service infrastructure, transport accessibility, route planning, tourism services, economic efficiency, tourism development

Организационно-экономическая методика формирования тематического туристского маршрута региона

Тажигаев Д.Е.¹ ^a

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье разработана организационно-экономическая методика формирования тематического туристского маршрута региона как комплексного туристского продукта. Актуальность исследования определяется необходимостью перехода от фрагментарного использования отдельных туристских объектов к их системной организации в виде маршрута, обеспеченного транспортной доступностью, сервисной инфраструктурой, местами размещения, информационным сопровождением, оценкой рисков и прогнозом экономического результата.

Предложенная методика основана на поэтапном подходе, охватывающем весь процесс формирования маршрута: определение концепции тематического маршрута, сбор и подготовку исходных данных региона, группировку туристских объектов, формирование системы критериев и рисков, выбор рационального транспортного сценария, разработку базового и расширенного форматов маршрута, многодневную организацию, привязку к местам ночёвки и сервисным точкам, проверку практической реализуемости, прогноз туристского потока и оценку экономической эффективности. Такая структура позволяет рассматривать тематический маршрут не только как последовательность объектов посещения, а как адаптивную туристскую услугу, связанную с региональным рынком сервиса.

Научная новизна исследования заключается в интеграции организационных, экономических, сервисных и транспортно-логистических элементов в единую методическую схему формирования тематического маршрута. Практическая значимость методики состоит в возможности её применения органами управления туризмом, туристскими компаниями, транспортными организациями, гостиничными и сервисными предприятиями при разработке

 <https://orcid.org/0009-0007-9032-5114>



конкурентоспособных региональных туристских продуктов. Использование предложенного подхода позволяет формировать компактный или расширенный маршрут, проверять его реализуемость, согласовывать его с инфраструктурой размещения и обслуживания, а также оценивать ожидаемый экономический эффект от развития тематической маршрутизации.

Ключевые слова: тематический туристский маршрут, региональный туризм, туристский продукт, организационно-экономическая методика, туристская услуга, сервисная инфраструктура, транспортная доступность, маршрутизация, экономическая эффективность, туристский поток, региональный рынок услуг

1. Введение

В современных условиях развитие регионального туризма всё в большей степени зависит не только от наличия туристских объектов, но и от способности территории формировать из них целостный, доступный и экономически результативный туристский продукт. Отдельные объекты культурного, исторического, археологического, экологического или этнографического значения сами по себе не всегда обеспечивают устойчивый туристский поток. Их практическая ценность возрастает тогда, когда они объединяются в тематический маршрут, обеспеченный транспортной доступностью, сервисной инфраструктурой, местами размещения, питанием, экскурсионным сопровождением, информационной поддержкой и механизмом продвижения.

Для регионов с пространственно разобщёнными туристскими объектами данная проблема имеет особую актуальность. В таких условиях простое включение объектов в маршрут не гарантирует его практической реализуемости. Необходимо учитывать расстояния между объектами, состояние транспортной инфраструктуры, время движения, продолжительность посещения, наличие мест ночёвки, сервисные точки, сезонность, риск-факторы и ожидаемый экономический результат. Поэтому тематический туристский маршрут целесообразно рассматривать не как линейную последовательность пунктов посещения, а как комплексную туристскую услугу, формируемую на основе организационно-экономического подхода.

Анализ существующих подходов показывает, что в научной и практической литературе вопросы формирования туристских маршрутов часто рассматриваются фрагментарно. В одних исследованиях основное внимание уделяется туристской привлекательности объектов, в других – транспортной доступности, в третьих – сервисному обеспечению, в четвёртых – экономической эффективности. Однако для практического формирования регионального туристского продукта требуется единая методика, объединяющая все указанные элементы в последовательный механизм: от определения концепции маршрута и сбора исходных данных до выбора формата маршрута, его привязки к сервисной инфраструктуре, прогноза туристского потока и оценки экономического эффекта.

Особую значимость такая методика имеет для регионов, обладающих высоким туристским потенциалом, но сталкивающимися с ограничениями инфраструктурного, транспортного и сервисного характера. В подобных условиях маршрут должен быть не только содержательно насыщенным, но и организационно реализуемым, экономически целесообразным и адаптированным к возможностям

региона. Это требует разработки поэтапного подхода, позволяющего сформировать как компактный вариант маршрута для ограниченных условий, так и расширенный вариант при наличии достаточного времени, транспортной доступности, мест размещения и сервисного сопровождения.

Целью настоящей статьи является разработка организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона как комплексного туристского продукта. В рамках данной методики маршрут рассматривается как система взаимосвязанных элементов, включающих туристские объекты, транспортные связи, сервисные точки, места размещения, риски, участников организации маршрута и прогнозируемый экономический результат.

Научная значимость исследования заключается в том, что предложенный подход позволяет перейти от фрагментарного проектирования маршрутов к их системному организационно-экономическому формированию. Практическая значимость состоит в возможности применения методики органами управления туризмом, туристскими компаниями, транспортными организациями, гостиничными предприятиями и другими участниками регионального рынка туристских услуг при разработке конкурентоспособных тематических маршрутов.

Обзор литературных источников

Проблема формирования тематических туристских маршрутов находится на пересечении нескольких научно-практических направлений: охраны культурного наследия, развития регионального туризма, проектирования туристских маршрутов, сервисного обеспечения туристского продукта, многокритериальной оценки и экономической эффективности туристских услуг.

Нормативно-правовую основу формирования тематических маршрутов в Республике Узбекистан составляют законодательные и программные документы, регулирующие охрану и использование объектов культурного и археологического наследия, развитие туризма, внутреннего и паломнического туризма, а также экологического туризма. В частности, законы Республики Узбекистан «Об охране и использовании объектов культурного наследия», «Об охране и использовании объектов археологического наследия» и «О туризме» определяют правовые основы сохранения, использования и включения объектов наследия в туристский оборот [1–3]. Постановления и указы, связанные с утверждением национального перечня объектов материального культурного наследия, развитием внутреннего и паломнического туризма, а также экологического туризма, создают институциональные условия для формирования



тематических маршрутов как инструмента регионального туристского развития [4–6].

Вопросы брендовых, культурных и тематических туристских маршрутов получили развитие в работах О.Е. Афанасьева и А.В. Афанасьевой, где брендовые туристские маршруты рассматриваются через их типологию, признаки и мировую практику применения [7]. Данный подход имеет значение для настоящего исследования, поскольку позволяет рассматривать тематический маршрут не только как последовательность объектов посещения, но и как туристский продукт, формирующий узнаваемость территории, её туристскую идентичность и конкурентные преимущества.

Значимое место в теоретическом обосновании тематических маршрутов занимают материалы Совета Европы по культурным маршрутам. В документах Council of Europe культурный маршрут рассматривается как система, объединяющая тему, объекты наследия, участников, территорию, сервисную инфраструктуру, механизмы координации и продвижения [8–10]. Такой подход важен для формирования регионального тематического маршрута, поскольку он показывает необходимость организационного объединения объектов, сервисов и участников рынка в единую маршрутную систему. В докладе UN Tourism “Cultural Routes and Itineraries” культурные маршруты также рассматриваются как инструмент развития территорий, повышения туристской привлекательности и вовлечения местных сообществ в экономику туризма [11].

В зарубежной литературе культурные маршруты часто рассматриваются как фактор территориального и локального развития. М.В. Shishmanova анализирует культурный туризм в системе культурных коридоров, маршрутов и сетей, подчёркивая их роль в региональном развитии [12]. S. Božić, J. Kennell, M. Vujčić и T. Jovanović предлагают модель оценки культурного маршрута с учётом мотивации туристов и восприятия маршрута как целостного продукта [13]. E. Oikonomopoulou, L. Sdrolias и S. Ntanos на примере культурных маршрутов острова Хиос показывают их значение для охраны наследия и местного развития [14]. С. Balcan, I. Çil и соавторы предлагают оптимизационную модель проектирования культурного маршрута, основанную на ценности объектов и логике их включения в маршрут [15]. Данные исследования подтверждают, что тематический маршрут должен рассматриваться не только как экскурсионная программа, но и как механизм организации туристского потребления и развития региональных услуг.

Отдельное направление исследований связано с задачами проектирования туристских поездок и маршрутизации. Р. Vansteenwegen, W. Souffriau и D. Van Oudheusden в обзоре по задаче Orienteering Problem рассматривают маршрут как задачу выбора объектов посещения при ограничениях по времени, длине пути и полезности объектов [16]. D. Gavalas, C. Konstantopoulos, K. Mastakas и G. Pantziou систематизируют алгоритмические подходы к решению задач проектирования туристских поездок, включая выбор объектов, последовательность посещения и ограничения туриста [17]. J. Ruiz-Meza и J.R. Montoya-Torres в систематическом обзоре показывают, что современные модели туристской маршрутизации

развиваются в направлении учёта дополнительных ограничений, альтернативных сценариев и индивидуальных предпочтений туристов [18]. Эти работы создают теоретическую базу для формального представления маршрута как системы объектов, связей, критериев и ограничений.

Вместе с тем алгоритмические модели туристской маршрутизации не всегда раскрывают организационно-экономический механизм превращения маршрута в готовый туристский продукт. Поэтому для настоящего исследования важны также работы, посвящённые конкурентоспособности дестинаций, туристскому продукту и сервисному управлению. D. Buhalis рассматривает конкурентоспособную дестинацию как систему, в которой туристская привлекательность должна быть связана с инфраструктурой, сервисом, управлением и продвижением [19]. J.R.B. Ritchie и G.I. Crouch подчёркивают, что устойчивое конкурентное преимущество туристской территории формируется не только за счёт ресурсов, но и за счёт способности территории организовать их в целостное туристское предложение [20].

Сервисная составляющая туристского маршрута раскрывается в работах А. Parasuraman, V.A. Zeithaml и L.L. Berry, предложивших модель SERVQUAL для оценки воспринимаемого качества услуг [21]. С. Grönroos рассматривает управление услугами и маркетинг сервиса как основу формирования ценности для потребителя [22]. Эти подходы позволяют обосновать необходимость включения в методику таких элементов, как уровень сервисной обеспеченности, доступность мест размещения, питания, сопровождения, информационной поддержки и других компонентов туристской услуги. Следовательно, тематический маршрут должен оцениваться не только по объектам посещения, но и по качеству сервисной среды, в которой он реализуется.

Для выбора рационального варианта маршрута и оценки альтернативных сценариев важное значение имеют методы многокритериального принятия решений. J. Rezaei предложил метод Best-Worst Method, позволяющий определять веса критериев на основе сравнения наиболее и наименее значимых факторов [23]. Е.К. Zavadskas и Z. Turskis разработали метод ARAS, применяемый для ранжирования альтернатив по интегральному показателю полезности [24]. А. Mardani, А. Jusoh и Е.К. Zavadskas обобщили применение нечётких многокритериальных методов принятия решений в различных прикладных задачах, что подтверждает их применимость при оценке сложных систем, включающих неопределённость и риск [25]. Данные методы важны для формирования тематического маршрута, поскольку позволяют учитывать одновременно стоимость, время, сервисную обеспеченность, транспортную связность, надёжность и риск-нагрузку.

Практическое развитие данного направления отражено в работах N.S. Sarvirova, D.Y. Tajibaev и соавторов. В исследовании по выбору оптимальных смешанных маршрутов на основе нечёткой иерархии и многокритериального принятия решений предложен подход к оценке альтернатив с использованием совокупности критериев [26]. В работе, посвящённой формализованному выбору объектов древнехорезмийского брендового туристского



маршрута в Каракалпакстане, показана возможность отбора и структурирования туристских объектов для последующего включения в маршрутную систему [27]. Эти исследования формируют прикладную основу для дальнейшего развития организационно-экономической методики формирования тематических туристских маршрутов региона.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что в научной литературе достаточно подробно рассмотрены отдельные аспекты исследуемой проблемы: правовое регулирование туризма и культурного наследия, культурные и брендовые маршруты, туристская маршрутизация, конкурентоспособность дестинаций, качество сервисного обслуживания, многокритериальная оценка и формализованный выбор объектов. Однако недостаточно полно раскрыт единый организационно-экономический механизм, который последовательно объединяет определение концепции маршрута, сбор региональных данных, группировку туристских объектов, выбор транспортно-сервисного сценария, формирование компактного и расширенного форматов, многодневную организацию, привязку к местам ночёвки и сервисным точкам, прогноз туристского потока и оценку экономической эффективности. Именно данный научный пробел определяет необходимость разработки предлагаемой в статье методики.

2. Методика исследования

Методологической основой исследования является системный подход к формированию тематического туристского маршрута региона как комплексного туристского продукта. В рамках данного подхода маршрут рассматривается не только как совокупность объектов посещения, но и как система взаимосвязанных организационных, экономических, сервисных, транспортных и инфраструктурных элементов. Такой подход позволяет оценивать маршрут с позиции его практической реализуемости, сервисной обеспеченности и ожидаемого экономического результата.

В формализованном виде тематический туристский маршрут региона можно представить как систему:

$$R = \{I, E, M, H, S, C, \Omega, Q\} \quad (1)$$

где R – тематический туристский маршрут региона;
 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ – множество туристских объектов;
 $E = \{e_{ij}\}$ – множество транспортных связей между объектами;

M – множество допустимых видов транспорта;

H – множество мест ночёвки и сервисных остановок;

S – сервисная инфраструктура маршрута;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – система критериев организационно-экономической оценки;

Ω – множество ограничений и рисков, влияющих на практическую реализуемость маршрута;

Q – ожидаемый организационно-экономический результат.

Данная формализация позволяет рассматривать тематический маршрут как целостную систему, в которой туристские объекты, транспортные связи, сервисная инфраструктура, места размещения, критерии оценки, риски и экономический результат находятся во взаимосвязи. Такой подход соответствует этапной

логике формирования маршрута, где на начальном этапе задаются объекты, транспортные связи, виды транспорта, места ночёвки, критерии, ограничения и риски, а на заключительном этапе определяется готовый туристский продукт и его экономическая эффективность.

Информационной базой исследования послужили научные работы по вопросам туристской маршрутизации, культурных и тематических маршрутов, транспортной доступности, многокритериального принятия решений, оценки рисков и развития регионального туризма. Кроме того, использованы материалы, характеризующие туристские объекты региона, транспортные связи между ними, возможные места размещения, сервисные точки, ограничения по времени прохождения маршрута, риски реализации туристской поездки и показатели туристского потока.

В процессе исследования применены методы системного анализа, сравнительного анализа, организационно-экономического моделирования, транспортно-логистического анализа, группировки туристских объектов, экспертной оценки, многокритериального принятия решений, сценарного подхода и прогнозной оценки экономического эффекта. Применение системного анализа позволило рассмотреть тематический маршрут как целостную туристскую услугу, объединяющую объекты показа, транспортное обеспечение, сервисную инфраструктуру, размещение, информационное сопровождение и экономический результат.

Сравнительный анализ использован для обобщения существующих подходов к формированию туристских маршрутов и выявления их ограничений. Метод группировки применён для классификации объектов маршрута по их роли в туристском продукте: ключевые, дополнительные, периферийные, труднодоступные и сервисно-поддерживающие объекты. Такой подход позволяет определить, какие объекты должны формировать содержательное ядро маршрута, а какие могут быть включены в расширенный формат при наличии благоприятных организационных и сервисных условий.

Методы многокритериального принятия решений используются для оценки альтернативных вариантов прохождения маршрута с учётом совокупности критериев, отражающих стоимость, время, сервисную обеспеченность, транспортную связность, надёжность и риск-нагрузку. Экспертная оценка применяется для определения значимости критериев и рисков, влияющих на практическую реализацию маршрута. Сценарный подход позволяет рассматривать различные форматы маршрута – компактный и расширенный – в зависимости от продолжительности поездки, доступности транспорта, состояния инфраструктуры, наличия мест ночёвки и уровня сервисного сопровождения.

Для оценки экономического результата применяется прогнозный подход, основанный на определении возможного прироста туристского потока и дополнительного объёма туристских услуг. Это позволяет рассматривать тематический маршрут не только как организационную схему посещения объектов, но и как инструмент развития регионального рынка туристских услуг, увеличения спроса на



транспорт, размещение, питание, экскурсионное обслуживание и сопутствующие сервисы.

Таким образом, применённая совокупность методов обеспечивает возможность разработки организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона, начиная от определения концепции маршрута и сбора исходных данных до выбора формата маршрута, проверки его практической реализуемости и оценки экономической эффективности.

Организационно-экономическая методика формирования тематического туристского маршрута региона

Предлагаемая организационно-экономическая методика формирования тематического туристского маршрута региона основана на поэтапном подходе, при котором маршрут рассматривается не как простая последовательность объектов посещения, а как комплексный туристский продукт. Его формирование требует согласования туристских объектов, транспортной доступности, сервисной инфраструктуры, мест размещения, рисков, участников организации маршрута и ожидаемого экономического результата.

В отличие от традиционного подхода, при котором основное внимание уделяется только выбору достопримечательностей или определению последовательности их посещения, предлагаемая методика охватывает полный цикл формирования маршрута: от разработки концепции до оценки экономической эффективности. В её основе лежит этапная схема, включающая определение концепции маршрута, сбор исходных данных, группировку объектов, формирование критериев и рисков, выбор транспортного сценария, разработку компактного и расширенного форматов, многодневную организацию, привязку к ночёвкам и сервисным точкам, прогноз туристского потока и расчёт экономического результата.

Для удобства практического применения все этапы методики целесообразно объединить в пять взаимосвязанных блоков.

Первый блок – концептуально-информационный. На данном этапе определяется общая идея будущего маршрута: его тип, тематическая направленность, целевая аудитория, предполагаемая продолжительность поездки, уровень сервиса и сезонность. Маршрут может иметь историко-культурный, археологический, экологический, паломнический, этнографический или смешанный характер. Результатом данного блока является формирование предварительной концепции туристского продукта.

После определения концепции выполняется сбор исходных данных региона. В информационную базу включаются перечень туристских объектов, их координаты, расстояния между объектами, время движения, состояние подъездных дорог, возможные виды транспорта, места размещения, пункты питания, санитарные остановки, заправки, сервисные точки, данные о туристском потоке, сезонности и рисках. На этом этапе формируется база данных, необходимая для последующей организационно-экономической и транспортно-сервисной оценки маршрута.

Второй блок – оценочно-аналитический. Его задача состоит в первичной группировке туристских объектов и формировании системы оценки маршрута.

Объекты маршрута разделяются на ключевые, дополнительные, периферийные, труднодоступные и сервисно-поддерживающие. Ключевые объекты формируют тематическое ядро маршрута, дополнительные усиливают его содержательную насыщенность, периферийные и труднодоступные включаются только при наличии благоприятных условий, а сервисно-поддерживающие обеспечивают устойчивость маршрута.

На этом же этапе формируется система критериев оценки. В неё могут входить стоимость прохождения маршрута, общее время поездки, сервисная обеспеченность, транспортная связность, надёжность, проходимость и доступность маршрута. Одновременно определяется система рисков: временные задержки, инфраструктурные ограничения, плохое состояние дорог, сезонные факторы, недостаточность сервиса, безопасность и другие факторы, влияющие на практическую реализацию маршрута.

Третий блок – сценарно-расчётный. В данном блоке формируются альтернативные транспортные сценарии прохождения маршрута. Для каждого сценария определяются транспортные плечи, возможные виды транспорта, стоимость движения, время прохождения, уровень связности, сервисной обеспеченности, риска и надёжности. Далее выполняется многокритериальная оценка альтернативных сценариев и выбирается наиболее рациональный вариант.

На данном этапе могут применяться методы экспертного взвешивания и многокритериального принятия решений. Их задача состоит не в том, чтобы выбрать самый дешёвый или самый короткий маршрут, а в том, чтобы определить наиболее сбалансированный транспортно-сервисный сценарий, учитывающий стоимость, время, доступность, надёжность, риск и качество обслуживания туристов.

Четвёртый блок – организационно-сервисный. После выбора рационального сценария формируются два формата маршрута: компактный и расширенный. Компактный формат включает ключевые и организационно устойчивые объекты, которые обеспечивают базовое содержание туристского продукта. Расширенный формат включает дополнительные объекты, позволяющие глубже раскрыть тему маршрута, увеличить продолжительность пребывания туристов и расширить потребление региональных услуг.

Далее выполняется многодневная организация маршрута. Объекты распределяются по дням, рассчитывается время движения, время посещения объектов, сервисное время, риск-нагрузка и общая дневная нагрузка. Особое значение имеет привязка маршрута к местам ночёвки и сервисным точкам. Если после завершения дневной программы туристская группа оказывается слишком далеко от доступного места размещения, маршрут не может считаться практически реализуемым. Поэтому методика предусматривает проверку расстояния от завершающего объекта дня до места ночёвки, а также согласование маршрута с пунктами питания, санитарными остановками и сервисной инфраструктурой.

На основе этих проверок определяется, какой формат маршрута является допустимым: компактный или расширенный. Компактный формат выбирается при



ограниченном времени, недостаточной сервисной обеспеченности или высоком уровне рисков. Расширенный формат выбирается при наличии достаточного времени, устойчивой транспортной схемы, доступных мест ночёвки и необходимого уровня сервиса.

Пятый блок – продуктово-экономический. На заключительном этапе маршрут оформляется как готовый туристский продукт. Для этого составляется программа по дням, определяется стоимость туристской услуги, закрепляется транспортное обеспечение, уточняются места ночёвки и питания, формируется информационное сопровождение, определяется целевая аудитория и сезонность маршрута.

Интегральную эффективность тематического туристского маршрута можно представить в виде целевой функции, объединяющей туристскую содержательность, сервисную обеспеченность, транспортную доступность, экономический результат и риск-нагрузку маршрута:

$$\max F(R) = \alpha P(R) + \beta S(R) + \gamma A(R) + \delta Q(R) - \lambda R_{sk}(R) \quad (2)$$

где: $F(R)$ – интегральная эффективность тематического маршрута;

$P(R)$ – туристская содержательность маршрута;

$S(R)$ – уровень сервисной обеспеченности;

$A(R)$ – транспортная доступность;

$Q(R)$ – ожидаемый экономический результат;

$R_{sk}(R)$ – совокупная риск-нагрузка маршрута;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \lambda$ – весовые коэффициенты значимости.

После этого выполняется прогноз туристского потока и оценка экономической эффективности. Экономический результат маршрута проявляется не только в росте числа туристов, но и в увеличении спроса на транспортные услуги, гостиницы, питание, экскурсионное обслуживание, услуги гидов, сувенирную торговлю и другие элементы регионального рынка услуг. Поэтому тематический маршрут рассматривается как инструмент развития не только туризма, но и всей сервисной экономики региона.



Рис. 1. Структурная схема организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона

Обобщённая структура предлагаемой методики представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона

Блок методики	Основное содержание	Практический результат
Концептуально-информационный блок	определение типа маршрута, целевой аудитории, продолжительности, уровня сервиса, сбор данных об объектах, дорогах, транспорте, размещении и сервисе	сформирована концепция маршрута и информационная база
Оценочно-аналитический блок	группировка объектов, определение ключевых, дополнительных, периферийных и сервисных точек, формирование критериев и рисков	сформирована система оценки маршрута
Сценарно-расчётный блок	разработка альтернативных транспортных сценариев, расчёт стоимости, времени, рисков, связности и надёжности	выбран рациональный транспортно-сервисный сценарий
Организационно-сервисный блок	формирование компактного и расширенного форматов, распределение объектов по дням, проверка дневной нагрузки, ночёвок и сервисных точек	определён практически реализуемый формат маршрута
Продуктово-экономический блок	оформление готового туристского продукта, расчёт стоимости, прогноз туристского потока и оценка экономического эффекта	сформирован маршрут, готовый к практическому применению

Для повышения научной обоснованности предлагаемой методики каждый этап формирования



тематического туристского маршрута должен иметь не только организационное, но и формализованное математическое выражение. Это позволяет перейти от описательной схемы формирования маршрута к расчётной логике, в которой туристские объекты, транспортные связи, сервисные элементы, ограничения, риски и экономический результат рассматриваются как взаимосвязанные параметры единой системы. Поэтому в таблице 2 представлено математическое обеспечение основных этапов организационно-экономической методики.

Таблица 2

Математическое обеспечение организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона

Этап методики	Математическое выражение	Экономико-организационный смысл
Формирование множества объектов	$I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$	задаётся перечень туристских объектов региона
Формирование транспортных связей	$E = \{e_{ij} \mid i, j \in I\}$	определяется связность объектов маршрута
Оценка объекта	$P_i = f(a_i, l_i, s_i, r_i)$	объект оценивается по туристской значимости, доступности, сервису и риску
Выбор формата маршрута	$D_1 \subseteq D_2 \subseteq I$	базовый формат входит в расширенный
Дневная нагрузка	$T_d = T_d^{move} + T_d^{visit} + T_d^{serv} + T_d^{risk}$	определяется допустимость маршрута по времени
Ограничение дня	$T_d \leq T^{max}$	туристский день не должен быть перегружен
Экономический эффект	$\Delta X_t = X_t^0 \cdot k$	определяется дополнительный объём туристских услуг

Как видно из таблицы 2, математическое обеспечение методики охватывает все ключевые этапы формирования тематического туристского маршрута: определение множества объектов, формирование транспортных связей, оценку туристской и сервисной значимости объектов, выбор компактного и расширенного форматов, расчёт дневной нагрузки, проверку ограничений и оценку экономического эффекта. Это показывает, что предлагаемая методика не ограничивается общей организационной схемой, а имеет формализованную основу, позволяющую

использовать её в практических расчётах при разработке региональных туристских продуктов.

Такой подход особенно важен для регионов с пространственно разобщёнными туристскими объектами, поскольку позволяет заранее проверить не только содержательную привлекательность маршрута, но и его транспортную доступность, сервисную обеспеченность, допустимую дневную нагрузку, риск-устойчивость и ожидаемый экономический результат. Следовательно, математическое обеспечение выступает связующим элементом между этапной организационной схемой и практической реализацией готового туристского маршрута.

На основе предложенной блочной структуры и её математического обеспечения процесс формирования тематического туристского маршрута региона может быть представлен в виде последовательного алгоритма. Данный алгоритм отражает переход от исходной идеи маршрута к готовому туристскому продукту, включающему транспортное обеспечение, сервисную инфраструктуру, места размещения, проверку реализуемости и оценку экономического результата.

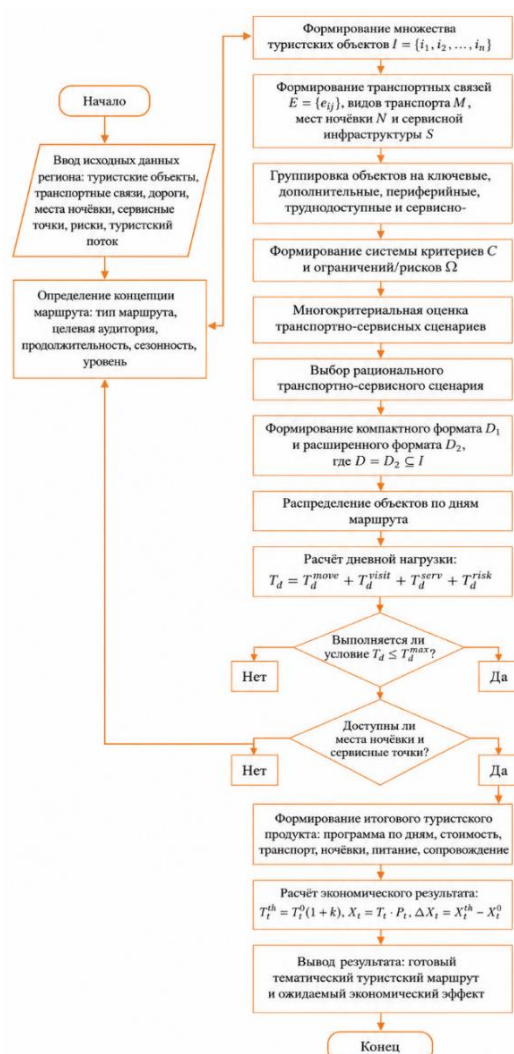


Рис. 2. Блок-схема алгоритма организационно-экономического формирования тематического туристского маршрута региона

Представленная блок-схема отражает последовательность формирования тематического туристского маршрута региона с учётом требований к построению алгоритмов. В схеме использованы блоки ввода исходных данных, процессов обработки, предопределённого расчётного этапа, условных проверок, корректирующих действий и вывода итогового результата. Особенность алгоритма состоит в наличии двух контрольных условий: проверки допустимой дневной нагрузки $T_d \leq T^{max}$ и проверки доступности мест ночёвки и сервисных точек. Если данные условия не выполняются, маршрут корректируется или переводится в компактный формат. Если условия выполняются, маршрут оформляется как готовый туристский продукт с последующей оценкой туристского потока и экономического эффекта.

Представленный алгоритм показывает, что формирование тематического туристского маршрута региона является не разовым действием по выбору объектов, а последовательным организационно-экономическим процессом. Его результатом становится готовый туристский продукт, который может быть представлен в компактном или расширенном формате, проверен по условиям практической реализуемости и оценён с точки зрения ожидаемого экономического эффекта. Такая логика соответствует этапной схеме, где процесс доводится до готового маршрута, прогноза туристского потока и оценки экономической эффективности.

Таким образом, предлагаемая методика обеспечивает последовательный переход от идеи маршрута к готовому туристскому продукту. Её отличие состоит в том, что каждый этап формирования маршрута связан с конкретным организационным, сервисным или экономическим результатом. Это позволяет использовать методику не только в научных расчётах, но и в практической деятельности туристских компаний, органов управления туризмом, транспортных организаций, гостиничных предприятий и других участников регионального рынка туристских услуг.

3. Результаты и Обсуждение

Результатом исследования является разработка организационно-экономической методики формирования тематического туристского маршрута региона, которая объединяет в единую последовательность организационные, сервисные, транспортно-логистические и экономические этапы создания туристского продукта. В отличие от подходов, где маршрут рассматривается только как перечень объектов посещения или как схема перемещения между ними, предлагаемая методика доводит процесс до формирования готового туристского продукта, пригодного для практического предложения туристам.

Содержание методики показывает, что формирование тематического маршрута должно начинаться не с выбора отдельных объектов, а с определения концепции туристского продукта. На этом этапе устанавливаются тип маршрута, целевая аудитория, продолжительность поездки, уровень сервиса и сезонность. Далее создаётся информационная база, включающая туристские объекты, координаты, расстояния, время движения, состояние дорог, виды транспорта, места ночёвки, пункты питания, сервисные

точки, данные о туристском потоке и рисках. Такая последовательность отражена в этапной схеме, где первые этапы направлены на определение концепции маршрута и подготовку исходных данных региона.

Важным результатом является то, что методика позволяет перейти от простого отбора объектов к их функциональной группировке. Туристские объекты разделяются на ключевые, дополнительные, периферийные, труднодоступные и сервисно-поддерживающие. Это имеет принципиальное значение, поскольку не все объекты могут выполнять одинаковую роль в маршруте. Одни формируют тематическое ядро, другие усиливают содержательную насыщенность, третьи могут быть включены только при благоприятных условиях, а сервисные точки обеспечивают устойчивость маршрута, хотя не всегда являются самостоятельной целью посещения.

Следующим результатом является включение в методику системы критериев и рисков. Это позволяет оценивать маршрут не только по туристской привлекательности, но и по совокупности условий его реализации: стоимости, времени, доступности, связности, надёжности, сервисной обеспеченности, рискам задержек, состоянию дорог, сезонности и безопасности. Тем самым маршрут оценивается как реальный туристский продукт, функционирующий в конкретной региональной среде.

Особое значение имеет сценарно-расчётный блок методики. Он предусматривает формирование альтернативных транспортных сценариев, их оценку по системе критериев и выбор рационального варианта. Однако в рамках данной статьи данный блок рассматривается не как самостоятельная математическая задача, а как часть более широкой организационно-экономической методики. Его назначение состоит в том, чтобы обеспечить маршрут транспортно и сервисно реализуемым сценарием, а не просто минимизировать расстояние или время поездки.

Организационно-сервисный блок методики позволяет сформировать два возможных формата туристского маршрута: компактный и расширенный. Компактный формат целесообразен для условий ограниченного времени, недостаточной сервисной обеспеченности или повышенной риск-нагрузки. Расширенный формат применяется тогда, когда регион располагает достаточным временем, местами ночёвки, сервисными точками и устойчивой транспортной схемой. Такое разделение повышает адаптивность туристского продукта и позволяет туроператору не отказываться от маршрута полностью при неблагоприятных условиях, а переходить к более устойчивой конфигурации.

Важным практическим результатом является включение в методику этапов многодневной организации маршрута. На этом уровне маршрут распределяется по дням, рассчитываются время движения, время посещения объектов, сервисное время, риск-нагрузка и общая дневная нагрузка. Кроме того, выполняется привязка маршрута к местам ночёвки и сервисным точкам. Это особенно важно для регионов, где туристские объекты расположены на значительном расстоянии друг от друга, а инфраструктура размещения развита неравномерно.

Предложенная методика отличается тем, что после проверки организационной реализуемости маршрут не



остаётся только расчётной схемой. На заключительных этапах он оформляется как готовый туристский продукт: составляется программа по дням, определяется стоимость услуги, закрепляется транспортное обеспечение, уточняются места ночёвки и питания, подготавливается информационное сопровождение, определяется целевая аудитория и сезонность. Далее выполняется прогноз туристского потока и оценка экономической эффективности. Это позволяет связать маршрут не только с туристской привлекательностью, но и с развитием регионального рынка услуг.

Для обобщения полученных результатов целесообразно сопоставить традиционный и предлагаемый подходы к формированию тематического туристского маршрута.

Таблица 3

Сравнение традиционного и организационно-экономического подходов к формированию тематического туристского маршрута

Направление сравнения	Традиционный подход	Предлагаемый организационно-экономический подход
Понимание маршрута	последовательность туристских объектов	комплексный туристский продукт региона
Основной акцент	достопримечательности и порядок их посещения	объекты, транспорт, сервис, ночёвки, риски и экономический результат
Работа с объектами	отбор наиболее привлекательных объектов	группировка объектов по роли в маршруте: ключевые, дополнительные, периферийные, труднодоступные и сервисные
Транспортная составляющая	рассматривается как способ перемещения	рассматривается как условие доступности и реализуемости туристской услуги
Сервисная инфраструктура	часто учитывается дополнительно	включается в методику как обязательный элемент маршрута
Формат маршрута	преимущественно фиксированный	компактный или расширенный в

Направление сравнения	Традиционный подход	Предлагаемый организационно-экономический подход
		зависимости от условий региона
Ночёвки и сервисные точки	учитываются после составления маршрута	проверяются как условие практической реализуемости
Экономический результат	оценивается отдельно или не учитывается	включается в заключительный блок методики
Практический итог	схема посещения объектов	готовый туристский продукт для предложения туристам

Как видно из таблицы 3, предлагаемая методика расширяет содержание процесса формирования маршрута. Она позволяет учитывать не только туристскую привлекательность объектов, но и условия их практического включения в региональный туристский продукт. Это особенно важно для регионов, где наличие объектов наследия само по себе ещё не обеспечивает устойчивый туристский поток. Для этого необходима организация маршрута как услуги, связанной с транспортом, размещением, питанием, сервисом, информационной поддержкой и экономическим результатом.

Обсуждение полученных результатов показывает, что предложенная методика имеет как научное, так и прикладное значение. С научной точки зрения она объединяет разрозненные элементы маршрутного проектирования в единую организационно-экономическую схему. С практической точки зрения она может быть использована как пошаговый инструмент для туристских компаний, органов управления туризмом, транспортных организаций, гостиниц, гидов и сервисных предприятий.

Для усиления экономической направленности предлагаемой методики целесообразно дополнительно учитывать её влияние на туристский поток и объём туристских услуг. Поскольку тематический маршрут формируется как готовый туристский продукт, его практическое внедрение может способствовать увеличению числа туристов, продолжительности их пребывания и спроса на транспортные, гостиничные, ресторанные, экскурсионные и иные сервисные услуги. Поэтому экономический результат методики может быть представлен через сценарную оценку прироста туристского потока и объёма туристских услуг.

Прогнозный туристский поток с учётом развития тематических маршрутов можно определить по формуле:

$$T_t^m = T_t^0(1 + k), \quad (3)$$

где T_t^m – туристский поток с учётом развития

тематических маршрутов;

T_t^0 – базовый туристский поток;

k – сценарный коэффициент прироста туристского потока за счёт развития тематической маршрутизации.

Объём туристских услуг в общем виде может быть представлен как произведение туристского потока и среднего объёма расходов одного туриста:

$$X_t = T_t \cdot \bar{P}_t, \quad (4)$$

где X_t – объём туристских услуг;

T_t – туристский поток;

$\bar{P}_t$ – средний объём расходов одного туриста.

Тогда дополнительный экономический эффект от развития тематических маршрутов может быть определён следующим образом:

$$\Delta X_t = X_t^m - X_t^0 = X_t^0 \cdot k, \quad (5)$$

где ΔX_t – дополнительный экономический эффект;

X_t^m – объём туристских услуг с учётом развития тематических маршрутов;

X_t^0 – базовый объём туристских услуг без дополнительного эффекта маршрутизации.

Данные формулы показывают, что предлагаемая организационно-экономическая методика направлена не только на построение маршрута как схемы посещения объектов, но и на оценку его вклада в развитие регионального рынка туристских услуг. Экономический результат проявляется через увеличение туристского потока, рост спроса на размещение, питание, транспорт, экскурсионное сопровождение, информационные услуги и другие элементы региональной сервисной экономики. Такая логика соответствует заключительным этапам методики, где после формирования готового туристского продукта выполняется прогноз туристского потока и оценка экономической эффективности маршрута.

Таким образом, разработанная методика позволяет решать три взаимосвязанные задачи. Во-первых, она обеспечивает формирование маршрута как содержательно целостного туристского продукта. Во-вторых, она позволяет проверить его практическую реализуемость с учётом транспортных, сервисных и инфраструктурных условий. В-третьих, она создаёт основу для оценки экономического результата, выражающегося в росте туристского потока и расширении спроса на региональные услуги.

4. Заключение

В статье разработана организационно-экономическая методика формирования тематического туристского маршрута региона. В отличие от подходов, при которых маршрут рассматривается преимущественно как перечень объектов посещения или как транспортная схема перемещения, предложенная методика позволяет рассматривать тематический маршрут как комплексный туристский продукт, включающий объектную, транспортную, сервисную, инфраструктурную, организационную и экономическую составляющие.

Основное содержание методики заключается в последовательном прохождении этапов от определения концепции маршрута до оценки его практической и экономической эффективности. В рамках предложенного подхода сначала определяется тип маршрута, целевая аудитория, продолжительность

поездки, уровень сервиса и сезонность. Затем формируется информационная база, включающая туристские объекты, координаты, расстояния, время движения, состояние дорог, виды транспорта, места размещения, сервисные точки и риски. После этого выполняется группировка объектов, формируется система критериев и рисков, выбирается рациональный транспортно-сервисный сценарий, определяется компактный или расширенный формат маршрута, проводится многодневная организация и оценивается экономический результат.

Научная значимость предложенной методики состоит в интеграции организационных, экономических, сервисных и транспортно-логистических элементов в единую этапную схему формирования тематического туристского маршрута региона. Такой подход позволяет устранить фрагментарность существующих решений, при которых отдельно рассматриваются выбор объектов, транспортная доступность, сервисное сопровождение, риски или экономический эффект.

Практическая значимость методики заключается в возможности её применения органами управления туризмом, туристскими компаниями, транспортными организациями, гостиничными предприятиями, гидами и сервисными структурами. Методика позволяет не только сформировать маршрут, но и определить его практическую реализуемость, выбрать компактный или расширенный формат, согласовать маршрут с местами ночёвки и сервисными точками, а также оценить ожидаемый экономический результат. Это особенно важно для регионов, где туристские объекты пространственно разобщены, транспортная инфраструктура неоднородна, а уровень сервисной обеспеченности различается по отдельным участкам маршрута.

Предложенный подход позволяет рассматривать тематическую маршрутизацию как инструмент развития регионального рынка туристских услуг. Формирование маршрута создаёт дополнительный спрос на транспорт, размещение, питание, экскурсионное обслуживание, услуги гидов, информационное сопровождение, сувенирную торговлю и другие элементы сферы сервиса. Следовательно, тематический маршрут выступает не только как экскурсионная программа, но и как механизм повышения экономической активности региона.

Таким образом, разработанная организационно-экономическая методика обеспечивает переход от фрагментарного использования туристских объектов к их системной организации в виде готового туристского продукта. Она позволяет сформировать маршрут на основе данных конкретного региона, проверить его реализуемость, выбрать оптимальный формат и оценить практический и экономический эффект. Данная логика соответствует этапной схеме, где процесс формирования маршрута завершается не только выбором маршрута, но и подготовкой готового туристского продукта для практического применения.



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] Закон Республики Узбекистан «О туризме» от 18.07.2019 № ЗРУ-549.
- [4] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 04.10.2019 № 846 «Об утверждении Национального перечня объектов недвижимости материального культурного наследия».
- [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 12.01.2024 № ПП-21 «О мерах по ускоренному развитию экологического туризма в Республике Узбекистан».
- [7] Афанасьев О. Е., Афанасьева А. В. Брендные 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, 2024.
- [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., Vujičić 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., Delegou E. T., Sayas J., Moropoulou A. An innovative approach to the protection of cultural heritage: The case of cultural routes in Chios Island, Greece // Journal of Archaeological Science: Reports. 2017. Vol. 14. P. 742–757. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.09.006.
- [15] Balcan C., Aydın E. Ö., Ünsal Ö. Value-based optimization model for cultural route design: Ancient Water Supply Heritage of Istanbul (Türkiye) // Journal of Cultural Heritage. 2024. Vol. 70. P. 97–110. DOI: 10.1016/j.culher.2024.08.016.
- [16] Vansteenwegen P., Souffriau W., Van Oudheusden D. The orienteering problem: a survey // European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 209. No. 1. P. 1–10.
- [17] Gavalas D., Konstantopoulos C., Mastakas K., Pantziou G. A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems // Journal of Heuristics. 2014. Vol. 20. P. 291–328.
- [18] Ruiz-Meza J., Montoya-Torres J. R. A systematic literature review for the tourist trip design problem: extensions, solution techniques and future research lines // Operations Research Perspectives. 2022. Vol. 9. Article 100228.
- [19] Buhalis D. Marketing the competitive destination of the future // Tourism Management. 2000. Vol. 21. No. 1. P. 97–116.
- [20] Ritchie J. R. B., Crouch G. I. The Competitive Destination: A Sustainable Tourism Perspective. Wallingford: CABI Publishing, 2003.
- [21] Parasuraman A., Zeithaml V. A., Berry L. L. SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality // Journal of Retailing. 1988. Vol. 64. No. 1. P. 12–40.
- [22] Grönroos C. Service Management and Marketing: Customer Management in Service Competition. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2007.
- [23] Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method // Omega. 2015. Vol. 53. P. 49–57.
- [24] Zavadskas E. K., Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making // Technological and Economic Development of Economy. 2010. Vol. 16. No. 2. P. 159–172.
- [25] Mardani A., Jusoh A., Zavadskas E. K. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications: Two decades review from 1994 to 2014 // Expert Systems with Applications. 2015. Vol. 42. No. 8. P. 4126–4148.
- [26] Sarvirova N. S., Tajibaev D. Y. Selection of optimal mixed routes based on fuzzy hierarchy and multi-criteria decision making with five criteria // Journal of Transport. 2026. Vol. 3. No. 1. P. 37–44.
- [27] Sarvirova N. S., Tajibaev D. Y., Khakimov D. K. Formalized selection of sites for the ancient Khorezm branded tourist route in Karakalpakstan // Journal of Transport. 2026. Vol. 3. No. 2. P. 86–91.

Информация об авторах/ Information about the authors

Тажибаяв
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>



Assessing the technical condition of mainline diesel locomotive power plants using modern diagnostic and automated monitoring technologies

Sh.I. Kudratov¹^a, O.R. Khamidov¹^b, B.I. Gayratov¹^c, F.R. Djuraev¹, A.K. Joraev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The power units of mainline diesel locomotives are one of the primary technical systems ensuring the continuous and safe operation of railway transport. The operational reliability of these power units is directly linked to the timely assessment of their technical condition, the detection of malfunctions in their initial stages, and the scientifically-based organization of maintenance processes. Traditional, regulation-based maintenance methods often fail to fully reflect the actual technical condition of the aggregates, leading to increased operational costs, the occurrence of unscheduled failures, and a decrease in the operational readiness of locomotives. Therefore, integrating modern diagnostic tools and automated monitoring technologies into the maintenance system is one of the pressing scientific and practical tasks in the field of transport engineering. This study provides a comprehensive analysis of the capabilities of various methods for assessing the technical condition of mainline diesel locomotive power units, including vibration monitoring, thermographic inspection, physicochemical analysis of oil, monitoring of electrical parameters, and automated control systems based on intelligent sensors. The research methodology was based on systematic analysis, comparative evaluation of diagnostic parameters, monitoring of operational indicators, and assessment of maintenance efficiency. The diagnostic results showed that real-time monitoring of the power units' operating parameters enables the early detection of malfunctions, the prediction of their progression, and the optimization of maintenance intervals in accordance with operating conditions. The research findings confirmed that the application of modern diagnostic and automated monitoring technologies serves to enhance the operational reliability of mainline diesel locomotives, extend the service life of power unit components, reduce the number of unscheduled repairs, and optimize maintenance costs. Furthermore, it has been scientifically substantiated that implementing Condition-Based Maintenance (CBM) and Predictive Maintenance (PdM) principles significantly increases maintenance effectiveness and improves the operational availability coefficient of locomotives. The proposed integrated approach serves as a scientific and practical basis for increasing the accuracy of assessing the technical condition of mainline diesel locomotive power units, improving maintenance strategies, and widely implementing digital diagnostic systems in railway transport.

Keywords:

mainline diesel locomotive, power units, technical condition, diagnostics, automated monitoring, vibration monitoring, thermography, smart sensors, SCADA, Condition-Based Maintenance, Predictive Maintenance, operational reliability, maintenance, railway transport

1. Introduction

Railway transport is one of the most vital components of the country's transport system, providing for the transportation of large volumes of cargo and passengers over long distances. The efficiency and safety of the transport process largely depend on the technical condition of the locomotive fleet, particularly the power plants of mainline diesel locomotives, which are the primary source of traction power and determine the locomotive's operational performance.

Under modern conditions of intensive railway transport use, the demands for reliability, cost-effectiveness, and environmental safety of locomotive power plants are increasing. Prolonged operation of equipment under variable loads, exposure to adverse operating factors, and the natural wear and tear of parts and assemblies lead to a deterioration in the technical condition of power units, a decrease in their efficiency, and a higher probability of failure. Failure to detect malfunctions in a timely manner can result in

unscheduled repairs, rolling stock downtime, and significant economic losses.

Traditional maintenance and repair methods, based on scheduled overhaul intervals and periodic inspections, do not always allow for the timely detection of latent defects or an objective assessment of the equipment's actual condition. In this regard, the implementation of modern diagnostic and automation tools which ensure continuous monitoring of power plant operating parameters, prompt detection of deviations from standard indicators, and prediction of potential malfunctions is of particular relevance.

The development of digital technologies, microprocessor engineering, intelligent monitoring systems, and methods for processing large volumes of diagnostic data is opening up new opportunities for improving the locomotive maintenance system. The use of automated diagnostic complexes enables a shift from a system of scheduled preventive maintenance to maintenance based on actual technical condition, which in turn serves to increase

^a <https://orcid.org/0009-0007-6396-7699>

^b <https://orcid.org/0000-0003-0821-5754>

^c <https://orcid.org/0009-0005-3957-337X>



equipment reliability, reduce operational costs, and ensure the rational use of resources.

Despite the existence of numerous studies on locomotive equipment diagnostics, the challenge of a comprehensive assessment of the technical condition of mainline diesel locomotive power plants using modern control and automation tools remains relevant and requires further scientific substantiation. The development of monitoring methods that improve diagnostic reliability and ensure the effective management of the technical condition of locomotives throughout their entire operational life is of particular importance.

The power units of mainline diesel locomotives are one of the primary technical systems ensuring the continuous and safe operation of railway transport. The technical condition of these units directly affects the locomotives' traction power, fuel consumption, operational reliability, and economic efficiency. Therefore, regularly monitoring the condition of power units, along with the early detection and prevention of malfunctions that occur during their operation, is one of the most critical tasks facing railway transport today.

In recent years, the widespread introduction of digital technologies, automated control systems, and modern diagnostic tools into railway transport has created new opportunities for improving methods of assessing the technical condition of locomotives. However, in practice, effective solutions for diagnosing mainline locomotive power units during operation, determining their residual service life, and organizing maintenance based on their actual technical condition have not yet been sufficiently developed.

There is a need to further develop scientific and methodological approaches for the comprehensive monitoring of the performance indicators of diesel-generator sets, fuel, lubrication, and cooling systems, as well as auxiliary electrical equipment, in order to identify latent defects and prevent emergency situations. In most cases, existing diagnostic tools are limited to monitoring only individual parameters and do not allow for a comprehensive assessment of the power unit's overall technical condition.

Improving the reliability of power units and enhancing maintenance and repair systems are among the key scientific directions in the fields of transport engineering and locomotive management. As a result of research in reliability theory, technical diagnostics, automated monitoring systems, and operational efficiency enhancement, significant scientific achievements have been made by both domestic and foreign scientists.

Scientific literature extensively covers the assessment of the technical condition of mainline diesel locomotive power units, the detection and prediction of malfunctions, maintenance optimization, and the implementation of automated diagnostic systems. At the same time, the rapid development of modern sensor technologies, microprocessor-based control devices, remote monitoring systems, and digital diagnostic complexes necessitates the further improvement of existing methods for monitoring power units.

An analysis of scientific sources shows that assessing the technical condition of mainline locomotive power units using modern diagnostic and automation tools, detecting malfunctions in their early stages, and increasing their reliability by implementing a condition-based maintenance system remain relevant issues. Research in this area is of

great scientific and practical importance for increasing the operational efficiency of locomotives, reducing repair costs, ensuring the rational use of energy resources, and maintaining traffic safety in railway transport.

2. Research methodology

Structural Features of Modern Power Plants in Diesel Locomotives

Modern mainline diesel locomotives are high-tech transport vehicles in which power units serve as the primary source of traction. In recent decades, the design of these power units has undergone significant changes, driven by the need to increase fuel efficiency, reliability, and environmental safety, as well as to adapt to digital control and diagnostic technologies. Modern technical solutions are aimed not only at increasing locomotive power but also at providing the capability for continuous monitoring of the technical condition of key units during operation.

The core of the power units in most mainline diesel locomotives is a high-performance, supercharged internal combustion diesel engine. Unlike previous-generation engines, modern diesels are distinguished by their higher specific power, improved fuel efficiency, and reduced harmful emissions. Structurally, they are built with either a V-type or in-line cylinder arrangement and are equipped with a turbocharger, intercooling for the charge air, and electronic control systems for the fuel injection process.

One of the most important features of modern power units is the use of electronically controlled fuel systems. The use of electronic control units allows for the adjustment of injection timing, fuel delivery duration, and fuel rail pressure according to the engine's operating mode. This ensures more complete fuel combustion, reduces its specific consumption, and lowers the toxicity of exhaust gases. Furthermore, electronic systems enable automated monitoring of engine operating parameters and the recording of diagnostic data.

The turbocharging system is a crucial element in the design of modern power units. The turbocharger uses the energy from exhaust gases to increase the pressure of the air entering the engine cylinders. Increasing the air mass in the combustion chamber allows for greater fuel combustion efficiency and higher power output while maintaining the engine's relatively compact dimensions. Modern turbochargers are characterized by a high degree of automation and are equipped with instruments for monitoring temperature, pressure, and rotor speed [1-3].

In the design of modern power units, special attention is paid to the cooling system. During the operation of a diesel engine, a significant portion of the fuel's energy is converted into heat, which must be effectively dissipated to prevent components from overheating. Modern cooling systems include high-efficiency radiator sections, automatic thermoregulators, electric or hydrostatic fan drives, and digital temperature sensors. The use of automated control makes it possible to maintain the engine's optimal thermal regime, regardless of external climatic conditions and load levels.

No less important is the lubrication system, which reduces friction between moving parts and protects surfaces from wear. Modern diesel locomotive engines use combined lubrication systems with forced oil circulation through fine-particle filters and heat exchangers. To increase operational reliability, pressure, temperature, and oil quality sensors are



used, with their data transmitted to the locomotive's technical monitoring system.

Modern power units are characterized by the extensive use of electrical and electronic components. Locomotive equipment includes microprocessor control systems, digital controllers, intelligent sensors, and communication networks for data exchange. Such solutions enable functions like automatic power regulation, monitoring the technical condition of equipment, recording emergency events, and predicting the remaining service life of individual units.

A key design difference in modern power units is the direct integration of diagnostic tools into the equipment's structure. Whereas in the past, monitoring engine condition was primarily performed during scheduled inspections and repairs, modern locomotives are now being equipped with continuous monitoring systems. Parameters such as vibration, pressure, temperature, fuel consumption, lubricant quality, and exhaust gas composition are monitored. The data obtained is used to identify early signs of malfunctions and to prevent equipment failures.

One of the key directions in improving the design of power units is enhancing the environmental characteristics of diesel locomotives. To reduce harmful emissions, exhaust gas recirculation systems, catalytic converters, improved fuel injection control algorithms, and multi-stage turbocharging technologies are employed. The implementation of these solutions allows for compliance with modern international environmental standards while simultaneously increasing fuel efficiency [4-6].

Thus, the design of modern power units for mainline locomotives constitutes a complex system of interconnected mechanical, electrical, and electronic systems. Such units are characterized by a high level of automation, the use of electronic controls, the integration of technical diagnostic tools, and the application of technologies to increase fuel economy and environmental friendliness. The aforementioned design solutions create a foundation for implementing modern methods of monitoring the technical condition of equipment and for transitioning to a condition-based maintenance concept for locomotives, which is one of the main directions in the development of the locomotive industry.

3. Results and Discussion

Analysis of the Effectiveness of Modern Diagnostic Technologies in Assessing the Technical Condition of Diesel Locomotive Power Plants

The development of technical diagnostic tools for the power units of diesel locomotives is considered one of the primary ways to enhance the reliability of the locomotive fleet in both domestic and foreign practice. In recent years, particular attention has been given to creating automated monitoring systems that provide continuous oversight of the equipment's technical condition during operation.

In CIS countries, comprehensive systems for monitoring diesel engine parameters are traditionally employed, which include measuring coolant temperature, oil pressure, crankshaft speed, and other operational parameters. Modern locomotives are being equipped with microprocessor-based control systems that enable the recording of malfunctions and the saving of equipment operational history for subsequent analysis.

Vibrational analysis and engine oil analysis methods have become particularly well-developed. Using spectral oil analysis makes it possible to detect the presence of wear products from engine components and to assess their degree of deterioration. This approach is widely used in diagnosing the cylinder-piston group, bearing assemblies, and elements of the valve train mechanism.

International practices are characterized by a broader use of digital technologies and remote monitoring systems. Major railway companies are implementing intelligent platforms that provide real-time transmission of diagnostic data to specialized data processing centers. This allows for centralized monitoring of the technical condition of the locomotive fleet and a prompt response to any issues that arise [7-8].

The application of big data, cloud computing, and artificial intelligence technologies is a promising field. Analysis of the collected operational data enables the creation of mathematical models for equipment wear and the forecasting of potential failures. As a result, the accuracy of diagnostics and the efficiency of planning repair work increase significantly.

A comparative analysis of local and international experience shows that the most effective solutions are comprehensive diagnostic systems that integrate automated monitoring of equipment's technical condition, intelligent data analysis, and forecasting tools. The further development of these technologies involves integrating digital platforms for locomotive life cycle management and implementing the digital twin concept for the power unit (Fig. 1).



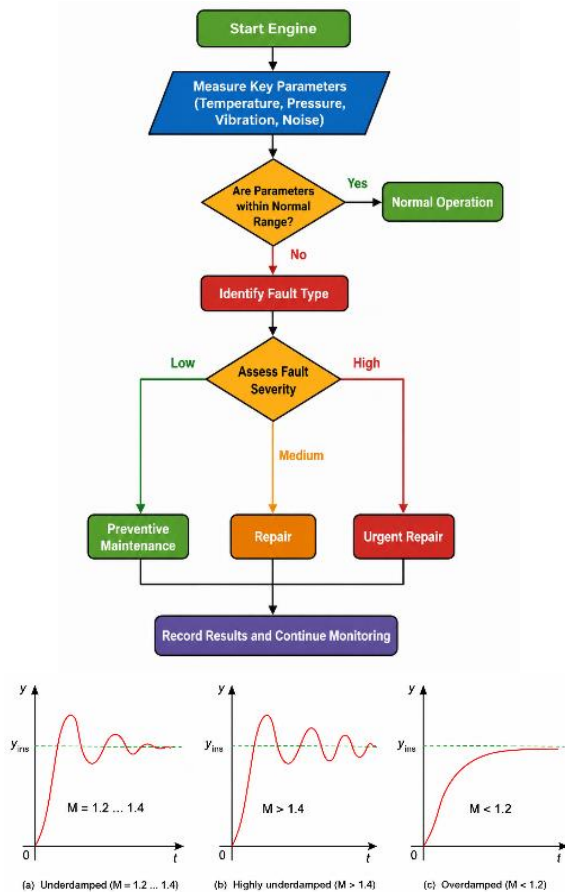


Fig. 1. Key factors affecting the operational characteristics and performance of internal combustion engines

Analysis of Modern Approaches to Assessing the Technical Condition of Locomotive Equipment

Assessing the technical condition of locomotive equipment is a vital component of the system for ensuring railway transport reliability. Traditional inspection methods were primarily based on conducting scheduled inspections and repairs at specified time intervals or distances traveled. However, the development of diagnostic technologies has revealed the limitations of this approach, as the actual technical condition of individual components can differ significantly from standard benchmarks.

Modern methods for assessing technical condition are based on the principle of continuously monitoring equipment performance parameters. Such systems are fundamentally comprised of digital sensors, microprocessor-based devices for information processing, and specialized software suites for data analysis. The use of these technologies allows for monitoring the equipment's technical condition directly during operation, without taking the locomotive out of service.

Modern methods for assessing technical condition are based on the principles of continuous monitoring of equipment performance parameters. The foundation of such systems consists of digital sensors, microprocessor-based devices for information processing, and specialized software suites for data analysis. The use of these technologies allows for the monitoring of the equipment's technical condition

directly during operation, without taking the locomotive out of service.

One of the most common methods is parametric diagnostics, which is based on analyzing changes in the equipment's operating parameters. Temperature, pressure, rotational speed, fuel consumption, vibration characteristics, and other indicators are monitored. Deviations from their standard values may signal an emerging malfunction.

Vibrodiagnostic methods, which enable the detection of defects in bearing assemblies, imbalances in rotating parts, shaft misalignments, and other mechanical damage in their early stages of development, have become widespread. The high sensitivity of this method makes it possible to predict equipment failure long before any external signs of a malfunction appear.

The use of intelligent diagnostic systems based on artificial intelligence and machine learning technologies is a promising direction. Such systems can analyze large volumes of operational data, identify hidden patterns in parameter changes, and predict the remaining service life of the equipment. Implementing the concept of predictive maintenance significantly increases the reliability of the locomotive fleet and reduces maintenance costs.

Modern approaches envision a transition from a system of scheduled preventive maintenance to maintenance based on actual technical condition. This concept relies on an objective assessment of the equipment's real-time state and allows for repair work to be carried out only when there is a confirmed need.

The power units of mainline diesel locomotives operate under complex and constantly changing conditions, which directly affects their technical condition. Sharp temperature changes, humidity, dust, and aggressive environmental factors, as well as the vibrations and shock loads that occur when the locomotive travels over uneven sections of track, reduce the operational reliability of the power unit's components. Furthermore, high traction loads, frequent changes in engine operating modes, prolonged operation at maximum power, and repeated starts and stops lead to the accelerated wear of the diesel-generator set's assemblies.

Under the influence of these factors, defects of varying severity can appear in the components of the cylinder-piston group, the fuel apparatus, the turbocharger, and the cooling and lubrication systems. These malfunctions lead to a decrease in the power output of the power units, an increase in fuel consumption, and a decline in environmental performance, while also negatively affecting the overall operational reliability of the locomotive. Therefore, continuous monitoring of the power units' technical condition using modern diagnostic and automated monitoring tools is an essential requirement for ensuring their efficient and safe operation [9-10].

Power units are operated in various climatic and operational conditions, which significantly affects their performance, reliability, and technical condition. When assessing the impact of environmental factors on the operation of power units, the intensity of solar radiation, atmospheric air temperature and relative humidity, the amount of precipitation, atmospheric pressure levels, and the presence of dust, abrasive particles, and other pollutants in the air are taken into account.

High temperatures adversely affect the thermal performance of the diesel engine, generator, and auxiliary systems, which increases the load on the cooling system and can shorten the service life of the units. In low-temperature

conditions, the physicochemical properties of the fuel change, the efficiency of the lubrication system decreases, and starting the engine becomes more difficult. High air humidity can degrade the insulating properties of electrical equipment and accelerate corrosion processes.

The presence of dust and other mechanical particles in the atmosphere leads to the rapid wear of air filters, turbochargers, and cylinder-piston group components. Furthermore, in mountainous regions, the decrease in atmospheric pressure reduces the amount of air entering the engine cylinders, which negatively impacts the efficiency of the combustion process and the power output of the power unit.

Therefore, when operating the power units of mainline diesel locomotives, it is crucial to consider the influence of climatic factors and to monitor their technical condition using modern diagnostic and automated monitoring systems. This allows for the detection of malfunctions at an early stage, increases the reliability of the equipment, and reduces operational costs.

Mathematical evaluation of the reliability of internal combustion engines

The reliability of internal combustion engines (ICEs), which serve as the primary power units for mainline locomotives, is a key factor in determining the efficiency and safety of the transportation process. Under conditions of intensive locomotive use, the failure of individual engine components leads to a decrease in power, an increase in fuel consumption, a deterioration of environmental performance, and the need for unscheduled repairs. Therefore, to objectively assess the technical condition of these power units, it is essential to employ mathematical reliability analysis methods that allow for a quantitative assessment of the probability of uninterrupted equipment operation and the forecasting of its residual life.

Engine reliability is defined as the ability of the engine to maintain the values of its parameters, which characterize the performance of its specified functions, within established limits for a given period, provided that the conditions for operation, maintenance, and repair are met. A quantitative assessment of reliability is based on the statistical analysis of failures and the use of probabilistic models.

The main indicator is the probability of the engine operating without failure for a specified time (t):

$$P(t) = N(t) \times N_0$$

where N_0 is the initial number of engines under observation, and $N(t)$ is the number of engines that have remained operational by time (t).

The probability of failure is determined by the following expression:

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

To analyze the operational reliability of diesel locomotive engines, the failure rate is a widely used indicator that expresses the probability of a failure occurring per unit of time:

$$\lambda(t) = f(t) \times P(t)$$

where $f(t)$ is the probability density of the time to failure.

When the failure rate is constant, the degradation process can be described by the exponential distribution law:

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

This model is considered optimal for the normal operating period of the engine, which occurs after the break-in process is complete and before the onset of accelerated wear of the cylinder-piston group components, fuel system, and valve train mechanism.

Mean time to failure is defined as the mathematical expectation of the continuous operating time:

$$T_{av} = 1/\lambda$$

It is advisable to apply a structural-functional approach to complex technical systems, including the diesel-generator units of mainline locomotives.

The power plant under consideration may include the following functional subsystems: the cylinder-piston group, lubrication system, cooling system, fuel system, turbocharger, and electronic control system. The failure of any of these subsystems can limit the engine's operational capability, which justifies the need to use a series reliability model.

Modern diagnostic tools enable a transition from traditional statistical reliability assessment to the parametric forecasting of technical condition. In this context, the objects of analysis are diagnostic parameters such as combustion pressure, exhaust gas temperature, fuel consumption, oil pressure, vibration characteristics, and the toxicity indicators of exhaust gases.

The technical condition coefficient can be used to assess the level of technical degradation:

$$K_{ts} = X_t \times X_n$$

where X_t is the current value of the parameter being controlled, and X_n is its nominal value.

Using automated monitoring systems and intelligent diagnostic complexes enables the continuous collection of operational data and the real-time calculation of current reliability indicators. Based on the results obtained, it is possible to forecast the engine's residual life and schedule maintenance based on its actual condition.

Thus, the mathematical assessment of the reliability of mainline locomotive internal combustion engines relies on probabilistic-statistical methods, failure intensity models, and diagnostic criteria for technical condition. The combined application of reliability theory methods with modern diagnostic and automation tools ensures a more accurate assessment of the condition of power units and helps reduce operational costs while maintaining the required level of traffic safety [11].

Methods for Assessing the Technical Condition of Mainline Diesel Locomotive Power Plants

Assessing the technical condition of the power plants of mainline diesel locomotives is crucial for ensuring reliable locomotive operation, preventing malfunctions, and increasing the effectiveness of maintenance. During the technical assessment process, the current operational capability of units and systems is determined, along with their degree of wear and remaining service life. In modern practice, several methods are used to assess the technical condition of power plants (Fig. 2.).

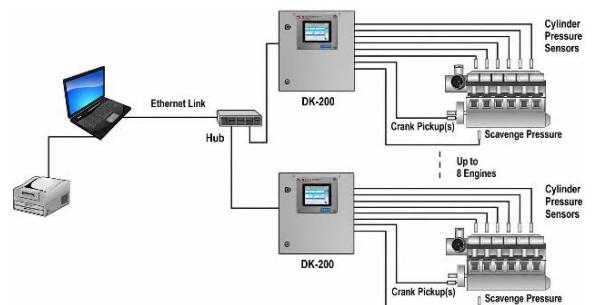


Fig. 2. Assessing the technical condition of the power plants of mainline diesel locomotives



Assessing the technical condition of the power units of mainline locomotives is a critical stage in the operational process, serving to ensure their reliable performance, prevent malfunctions, and extend their service life. The technical condition assessment process is divided into traditional and modern diagnostic methods, depending on the techniques used and the level of monitoring.

Under modern operating conditions, diagnostic methods are increasingly being used to assess the technical condition of power units. These methods are based on the direct measurement and analysis of changes occurring in the equipment's operation.

Diagnostic assessment methods include:

- vibration diagnostics;
- thermal diagnostics (analysis of temperature fields);
- acoustic diagnostics;
- oil condition analysis.

For example, vibration diagnostics can detect the wear of bearings, shafts, and rotating parts at an early stage. Thermal diagnostics, in turn, enables the identification of malfunctions in the cooling system and combustion process.

Assessing the technical condition of power units based on diagnostics offers the following advantages:

- the ability to detect malfunctions early;
- a reduction in the number of unscheduled repairs;
- optimization of maintenance costs;
- an increase in the operational reliability of the locomotives.

Furthermore, based on diagnostic results, maintenance can be transitioned to a condition-based principle, which is an important direction for modern railway transport.

Although traditional methods for assessing the technical condition of mainline locomotive power units are effective to a certain extent, their capabilities are limited under modern operating conditions. The use of parametric and diagnostic assessment methods makes it possible to determine the actual condition of power units, predict malfunctions, and extend the service life of locomotives. This, in turn, lays the groundwork for scientifically substantiating the importance of modern diagnostic and automation tools in the following sections.

The efficient operation of mainline diesel locomotive power units in modern conditions requires continuous and precise monitoring of their technical condition. Traditional periodic inspections do not allow for the timely detection of latent malfunctions occurring in power units. For this reason, modern diagnostic tools are currently being widely implemented in the assessment of power units.

Modern diagnostic tools allow for real-time monitoring of power unit operation, measurement of key operational parameters, and their analysis. With these tools, the assessment of the technical condition is carried out based on precise measurements rather than subjective judgment.

Diagnostic systems typically consist of the following components:

- sensors and measuring elements;
- signal processing modules;
- data acquisition and storage units;
- analysis and visualization software.

Temperature and pressure are the most critical diagnostic parameters when assessing the technical condition of power units. With modern temperature sensors, the following are continuously monitored:

- cylinder head and block temperature;

- coolant temperature;
- exhaust gas temperature.

Pressure sensors, in turn, allow for the assessment of the fuel and oil supply systems' condition. A deviation of these indicators from their nominal values indicates the onset of malfunctions in the power units.

Vibration diagnostics is one of the most effective methods for detecting mechanical wear and malfunctions in power units. With modern vibration sensors, the following can be identified at an early stage:

- the condition of bearings;
- imbalance of rotating parts;
- defects in shafts and mechanisms.

Through the spectral analysis of vibration signals, the root causes of malfunctions are identified and their stage of development is assessed.

Oil condition is a crucial source of information when assessing the technical condition of power units. In modern diagnostic systems, the following are monitored using special sensors:

- oil temperature;
- contamination level;
- the amount of metal particles.

Oil analysis directly reveals the wear processes occurring in the internal components of the diesel engine.

In the efficient operation of mainline locomotive power units, automated monitoring and control systems (AMCS) play a crucial role alongside diagnostic tools. These systems enable the real-time observation, analysis, and, where necessary, implementation of automatic control decisions for power units.

The primary tasks of automated monitoring systems are as follows:

- continuous monitoring of power unit operating parameters;
- detection of deviations from standard values;
- predicting the probability of malfunctions occurring;
- prompt transmission of information to the locomotive engineer and the dispatch center.

Such systems reduce the impact of the human factor and increase the reliability of the operational process [12-13].

4. Conclusion

During this research, the maintenance technology for the D49 diesel engine's lubrication system was comprehensively analyzed, and its impact on operational reliability was evaluated. The results revealed that the lubrication system is crucial for the engine's stable operation, the effective lubrication of friction parts, normal heat dissipation, and extending the service life of the main units. The research confirmed that a deterioration in the technical condition of lubrication system elements, a decrease in oil quality, contamination of filter elements, and a deviation of oil pressure from standard values negatively affect the engine's operational performance, leading to accelerated component wear and an increased risk of unscheduled failures.

The research findings indicated that organizing the maintenance process based on diagnostic data, rather than solely on regulations, is more effective. Regular monitoring of oil pressure, oil temperature, the physicochemical properties of the oil, and filtration efficiency allows for the detection of malfunctions in their early stages of

development. This serves to facilitate timely preventive maintenance, increase the reliability of units, and reduce operational costs.

It has been shown that automated monitoring systems enable continuous tracking of the primary operational parameters of diesel engines and allow for the rapid detection of deviations from standard operating modes. The use of digital sensors and microprocessor-based systems helps to increase the accuracy of measurements and the reliability of diagnostic conclusions.

An analysis of the capabilities of intelligent systems has revealed that employing artificial intelligence and machine learning technologies opens up prospects for transitioning to proactive (predictive) maintenance of locomotive equipment. The creation of digital twins for power units and the application of remote monitoring technologies are of particular relevance.

Analysis of existing diagnostic systems confirms their high efficiency in ensuring the operational reliability of locomotives. At the same time, further improvement of diagnostic tools should be aimed at increasing the accuracy of failure prediction, reducing implementation costs, and expanding the capabilities for automated analysis of operational data.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Krivorudchenko, V.F. Modern Methods of Technical Diagnostics and Fault Detection for Components and Assemblies of Railway Rolling Stock: A textbook for higher educational institutions of railway transport / R.A. Akhmedjanov, V.F. Krivorudchenko. - M.: Marshrut, 2005. - 436 p.
- [2] Zhao, H., Wang, Y., & Li, X. (2018). Effect of ignition timing on combustion and emission characteristics in a spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 137, 493-501.
- [3] Alahmer, A., & Al-Shboul, K. (2016). Experimental study on the effect of ignition timing on engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, 126, 613-621.
- [4] Patel, N., & Joshi, S. (2020). Sensor fusion-based combustion diagnostics for ignition timing optimization. *Sensors*, 20(5), 1487.
- [5] Ivanov, D. Big Data Analytics and Fatigue Life Assessment in Railway Freight Transportation. *Procedia Computer Science*, 2019. Vol. 159, pp. 1086-1095.
- [6] Ivanov, A.V. (2019). *Automated Diagnostic Systems in Locomotives*. Moscow: Transport Publishing.
- [7] Kudratov, Sh.I. Analysis and Diagnostics of a Diesel Engine Malfunction after Repair at a Control and Test Station / Sh.I. Kudratov, O.R. Khamidov, O.A. Rakhmonov. *Mashinasozlik [Mechanical Engineering]*. No. 4. pp. 72–80.
- [8] Kudratov, S., Yusuf, A., Khamidov, O., & Samatov, S. (2025, July). Diesel locomotives-Fault analysis and problem solving. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3256, №.1, p. 060013). AIP Publishing LLC.
- [9] Kulmanov, B., Grachev, V., Ergashev, O., & Kudratov, S. (2025). Improving the technical and economic performance of diesel engines for shunting locomotives. *Vibroengineering Procedia*, 60, 339-344.

[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] Gayratov, B., Khamidov, O., Kudratov, S., & Samatov, S. (2026, May). The ANFIS anticipation of diesel locomotive engine on the improvement of lubricating oil analysis. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3447, No. 1, p. 040008). AIP Publishing LLC.

[12] Grishenko, A.V., Khamidov, O.R., Kudratov, Sh.I., & Yusuf, A.M. (2025). "Automation and Automatic Control Systems of Locomotives (Part I)". Textbook. Tashkent: "Transport" Publishing House, 244 pages.

[13] Khamidov, O. R., Kudratov, S. I., Turdimurodov, B. C. U., & Norbotayeva, M. C. Q. (2024, March). Improvement of diagnostics and analysis of malfunction of the crankshaft of locomotive power plants. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3045, No. 1, p. 050030). AIP Publishing LLC.

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

Shohijakhon Kudratov	Tashkent State Transport University, Associate Professor of the "Locomotives and Locomotive Economy" Department E-mail: kudratov.shohijaxon@bk.ru Tel.: +99890 788 85 83 https://orcid.org/0009-0007-6396-7699
Otabek Khamidov	Tashkent State Transport University, Professor of the "Locomotives and Locomotive Economy" Department E-mail: otabek.rustamovich@yandex.ru Tel.: +99890 811 21 00 https://orcid.org/0000-0003-0821-5754
Bakhodir Gayratov	Tashkent State Transport University, PhD student at the Department of "Locomotives and Locomotive Economy" E-mail: bgayratoff@gmail.com Tel.: +99894 134 54 27 https://orcid.org/0009-0005-3957-337X
Firuz Djuraev	Tashkent State Transport University, PhD student at the Department of "Locomotives and Locomotive Economy" Tel.: +99899 512 45 00
Abbos Joraev	Tashkent State Transport University, PhD student at the Department of "Locomotives and Locomotive Economy" Tel.: +99888 854 40 00



Determining the safe movement speed of transport vehicles in mountain road conditions and justifying measures for its mandatory reduction (using the example of mountainous areas of the M-39 highway)

O.G. Shokirov¹^a

¹Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

Abstract: The article considers the issue of determining the safe speed of vehicles in mountainous areas and the scientific justification of the need for its mandatory reduction. A complex mathematical model is proposed that takes into account the turning radius, pavement adhesion coefficient, traffic flow intensity, flow density, geometric coefficient and permissible risk level. Using the example of the mountainous areas of the M-39 highway, safe speed values are analyzed and practical recommendations are developed to improve traffic safety. Using this model, it is possible to determine the safe speed value for vehicles in mountainous road conditions, assess the probability of accidents and limit the speed in accordance with real road conditions. Based on the results obtained, safe speed values are calculated for the example of the mountainous areas of the M-39 highway and practical recommendations are developed to improve traffic safety. In particular, the need to introduce dynamic road signs, warning information panels and speed control devices in dangerous turns, sections with limited visibility and areas with deteriorating pavement conditions is justified.

Keywords: mountain road, safe speed, turning radius, friction coefficient, traffic flow, accident probability, dynamic road sign

Tog'li yo'l sharoitlarida transport vositalarining xavfsiz harakat tezligini aniqlash va uni majburiy pasaytirish choralari asoslash (M-39 avtomobil yo'lining tog'li hududlari misolida)

Shokirov O.G.¹^a

¹Jizzax politexnika instituti, Jizzax, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada tog'li yo'l hududlarida transport vositalarining xavfsiz harakat tezligini aniqlash hamda uni majburiy kamaytirish zaruratini ilmiy asoslash masalasi ko'rib chiqilgan. Burilish radiusi, qoplama ilashish koeffitsienti, transport oqimi intensivligi, oqim zichligi, geometrik koeffitsient va ruxsat etilgan xavf darajasini hisobga oluvchi kompleks matematik model taklif etilgan. M-39 avtomobil yo'lining tog'li hududlari misolida xavfsiz tezlik qiymatlari tahlil qilinib, harakat xavfsizligini oshirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Mazkur model yordamida tog'li yo'l sharoitlarida transport vositalari uchun xavfsiz tezlik qiymatini aniqlash, avariya xavfi ehtimolini baholash hamda tezlikni real yo'l sharoitlariga mos ravishda cheklash imkoniyati yaratilgan. M-39 avtomobil yo'lining tog'li hududlari misolida xavfsiz tezlik qiymatlari hisoblangan va olingan natijalar asosida harakat xavfsizligini oshirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Xususan, xavfli burilishlar, ko'rinish masofasi cheklangan uchastkalar va qoplama holati yomonlashadigan hududlarda dinamik yo'l belgilarini, ogohlantiruvchi axborot panellarini hamda tezlikni nazorat qilish vositalarini joriy etish zarurligi asoslangan.

Kalit so'zlar: tog'li yo'l, xavfsiz tezlik, burilish radiusi, ilashish koeffitsienti, transport oqimi, avariya xavfi ehtimoli, dinamik yo'l belgisi

1. Kirish

Tog'li avtomobil yo'llari transport vositalarining harakat xavfsizligi nuqtayi nazaridan eng murakkab yo'l uchastkalari sirasiga kiradi. Bunday hududlarda yo'lning reja va profil elementlari tez-tez o'zgaradi, burilish radiuslari kichiklashadi, bo'ylama qiyalik ortadi, ko'rinish masofasi

cheklanadi hamda yo'l qoplama ob-havo ta'sirida tezda sirpanchiq holatga kelishi mumkin. Natijada haydovchi tomonidan tezlikni noto'g'ri tanlash, xavfli burilishda boshqaruvni yo'qotish, oraliq masofani saqlamaslik va keskin tormozlanish holatlari yo'l-transport hodisalari xavfini oshiradi.

^a <https://orcid.org/0009-0000-2124-2971>

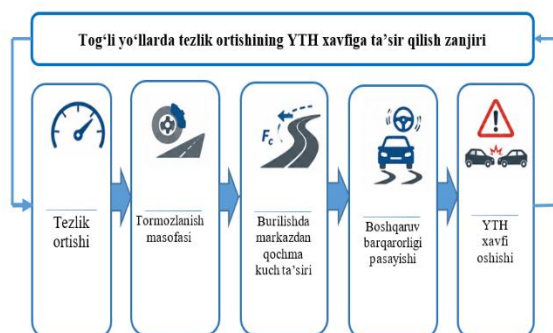


Amaldagi tezlik me'yorlari ko'pincha umumiy yo'l toifasi yoki harakat sharoitlariga asoslanadi. Biroq tog'li hududlarda bitta yo'l bo'lagi doirasida ham qoplama holati, qiyalik, burilish radiusi, ko'rinish masofasi va transport oqimi tarkibi keskin farq qilishi mumkin. Shuning uchun xavfsiz tezlikni aniqlashda faqat doimiy belgilangan tezlik chegarasidan foydalanish yetarli emas. Yo'lining real geometrik va ekspluatatsion parametrlarini hisobga olgan holda hisobiy xavfsiz tezlikni aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi tog'li yo'l hududlarida transport vositalari uchun xavfsiz harakat tezligini aniqlash va xavfli uchastkalarda tezlikni majburiy kamaytirish zaruratini asoslashdan iborat. Tadqiqot obyekti sifatida M-39 avtomobil yo'lining tog'li hududlari qabul qilindi. Mazkur yo'l uchastkalarida keskin burilishlar, turli qiyaliklar, o'zgaruvchan qoplama holati va transport oqimi intensivligi xavfsiz tezlikni aniqlash uchun muhim omillar sifatida qaraldi [1].

Harakat xavfsizligiga ta'sir etuvchi omillar

Tog'li yo'l hududlarida YTH xavfini shakllantiruvchi omillarni to'rtta asosiy guruhga ajratish mumkin: geometrik omillar, tabiiy omillar, transport oqimi omillari va inson omili. Geometrik omillarga keskin burilishlar, kichik radiusli egri yo'l uchastkalari, tik nishabliklar, tor qatnov qismi va cheklangan ko'rinish masofasi kiradi. Ushbu omillar transport vositasining dinamik barqarorligiga bevosita ta'sir etadi.



1-rasm. Tog'li yo'llarda tezlik ortishining YTH xavfiga ta'sir qilish zanjiri

Tabiiy omillar tarkibida tuman, yomg'ir, qor yog'ishi, muzlama, shamol va harorat o'zgarishi muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa qoplama nam yoki muzlagan holatda bo'lganda shina bilan yo'l orasidagi ilashish koeffitsienti kamayadi. Bu esa tormoz yo'lining uzayishiga, egri yo'lida yon sirpanish xavfining ortishiga va haydovchining transport vositasini boshqarish imkoniyati pasayishiga olib keladi [2].

Transport oqimi omillari harakatlanish zichligining ortishi, og'ir yuk transporti ulushining yuqoriligi, transport vositalari orasidagi masofaning qisqarishi va quvib o'tish bilan bog'liq xavflarda namoyon bo'ladi. Inson omili esa tezlikni oshirish, haydovchi tajribasining yetishmasligi, charchoq, uyqusizlik, chalg'ish va qoidabuzarliklar bilan bog'liq. Shu bois xavfsiz tezlikni belgilashda ushbu omillarning barchasi yagona yondashuvda ko'rib chiqilishi zarur.

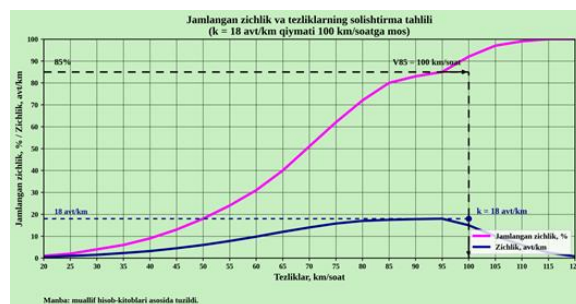
2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot metodikasi dastlabki ma'lumotlarni yig'ish, yo'l geometriyasini aniqlash, qoplama holatini baholash,

transport oqimi intensivligi va zichligini hisoblash, ruxsat etilgan xavf darajasini belgilash hamda xavfsiz tezlikni matematik model asosida aniqlash bosqichlaridan iborat. Dala tadqiqotlarida burilish radiusi, bo'ylama qiyalik, ko'rinish masofasi, yo'l qoplama holati va amaldagi harakat tezligi asosiy o'leohov parametrlari sifatida tanlandi [3].

Yo'l qoplama holati quruq, nam va ifloslangan yoki sirpanchiq qoplama holatlariga ajratildi. Quruq qoplama uchun $\varphi_1 = 0,75$, nam qoplama uchun $\varphi_2 = 0,55$, ifloslangan yoki sirpanchiq qoplama uchun $\varphi_3 = 0,35$ qiymatlari qabul qilindi. Ushbu koeffitsientlar xavfsiz tezlikni hisoblashda qoplama bilan shina orasidagi ilashish imkoniyatini ifodalaydi.

Transport oqimi intensivligi $q = 1750$ avt/soat deb olinganda va amaldagi tezlik 100 km/soat bo'lganda oqim zichligi $k = q/V = 1750/100 = 17,5 \approx 18$ avt/km ni tashkil etadi. Bu ko'rsatkich tog'li hududlarda transport vositalarining bir kilometr yo'l bo'lagidagi jamlanish darajasini baholash imkonini beradi. Oqim zichligi ortishi bilan xavfsiz oraliq masofani saqlash qiyinlashadi va xavf ehtimoli oshadi.



2-rasm. Transport oqimi zichligi va jamlangan zichlikning tezlikka bog'liqligi

Matematik model. Tog'li yo'l hududlarida transport vositasining ruxsat etilgan tezligi avvalo yo'lining burilish radiusi bilan bog'liq holda baholandi. Taklif etilgan modelda ruxsat etilgan tezlikning radiusga bog'liqligi quyidagi chiziqli regressiya orqali ifodalanadi:

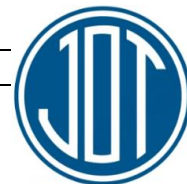
$$V_{\text{ruxsat}} = a + bR,$$

bu yerda a - masshtab koeffitsienti; b - burilish radiusining tezlikka ta'sir darajasini ifodalovchi sezgirlik koeffitsienti; R - burilish radiusi, m. Tadqiqotda $a = 4,50$ va $b = 0,38$ qiymatlari qabul qilindi. b koeffitsientining $0 < b < 1$ oraliqda bo'lishi modelning barqarorligini va radius ortishi bilan tezlikning haddan tashqari keskin oshmasligini ko'rsatadi.

Xavfsiz tezlikni aniqlashda faqat burilish radiusini hisobga olish yetarli emas. Modelda yo'lining burilish radiusi, oqim intensivligi, qoplama holati va geometrik murakkablik yagona matematik ifoda orqali bog'landi [4].

Avariya ehtimolini baholashda modelning qaror qabul qilish bloki muhim o'rin tutadi. Hisoblangan avariyaviylik ehtimoli qiymati ruxsat etilgan xavf darajasi bilan solishtiriladi. Agar $P_{\text{av. ehtimoli}} \leq P_{\text{xavf. darajasi}}$ sharti bajarilsa, hisoblangan tezlik xavfsiz deb qabul qilinadi. Aks holda tezlikni kamaytirish yoki qo'shimcha texnik vositalarni joriy etish talab etiladi.

Hisoblash algoritmi. Xavfsiz tezlikni aniqlash algoritmi ketma-ket bosqichlardan tashkil topadi. Birinchi bosqichda yo'l uchastkasi tanlanadi va uning burilish radiusi, qiyaligi, ko'rinish masofasi hamda qoplama holati aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda transport oqimi intensivligi,



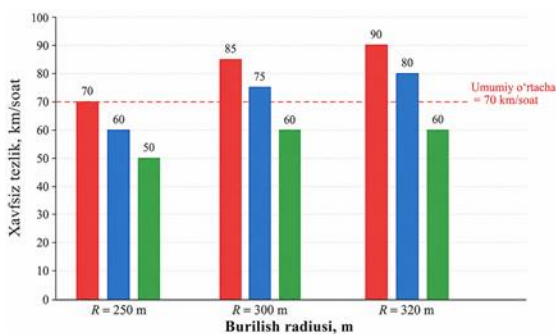
og'ir yuk avtomobillari ulushi va oqim zichligi hisoblanadi. Uchinchi bosqichda qoplama holatiga mos ϕ koeffitsienti tanlanadi va ruxsat etilgan xavf darajasi belgilanadi.

To'rtinchi bosqichda $v_{ruxsat} = a + bR$ regressiya modeli orqali radiusga bog'liq ruxsat etilgan tezlik aniqlanadi. Beshinchi bosqichda kompleks model yordamida xavfsiz tezlik hisoblanadi. Oltinchi bosqichda hisoblangan tezlik amaldagi tezlik bilan solishtiriladi. Agar amaldagi tezlik hisoblangan xavfsiz tezlikdan yuqori bo'lsa, mazkur uchastkada tezlikni majburiy kamaytirish zarurati mavjud deb baholanadi [4,5].

3. Natija va muhokamalar

Hisoblashlar $R = 250$ m, $R = 300$ m va $R = 320$ m bo'lgan burilish radiuslari uchun bajarildi. Quruq, nam va ifloslangan qoplama holatlari bo'yicha xavfsiz tezlik qiymatlari alohida baholandi. Natijalar qoplama holati yomnlashgan sari xavfsiz tezlik pasayishini ko'rsatdi. Masalan, $R = 250$ m bo'lgan keskin burilishda quruq qoplama sharoitida xavfsiz tezlik 70 km/soat atrofida bo'lsa, nam qoplama 60 km/soat, ifloslangan yoki sirpanchiq qoplama 50 km/soat atrofida bo'lishi kerak.

$R = 300$ m burilish radiusida quruq qoplama xavfsiz tezlik 85 km/soat, nam qoplama 75 km/soat, ifloslangan qoplama esa 60 km/soat atrofida aniqlandi. $R = 320$ m bo'lgan uchastkalarda quruq sharoitda 90 km/soatgacha tezlik ruxsat etilishi mumkin bo'lsa-da, nam qoplama va sirpanchiq holatda xavfsiz tezlik sezilarli darajada kamayadi [6].



3-rasm. Burilish radiusi va qoplama holatiga qarab xavfsiz tezlik qiymatlari

Jamlangan zichlik grafigi 100 km/soat tezlikda transport oqimi zichligi $k = 18$ avt/km ga mos kelishini ko'rsatadi. Biroq xavfsizlik nuqtayi nazaridan ushbu tezlik tog'li hududlarda har doim maqbul hisoblanmaydi. Burilish radiusi kichiklashgan yoki yo'l qoplamasi namlangan holatda xavfsiz tezlik 70 km/soat yoki undan past qiymatga tushadi. Shu sababli umumiy tog'li hududlar uchun 70 km/soat tezlik chegarasi asosiy tavsiya sifatida qabul qilinishi mumkin [11].

Olingan natijalar amaldagi 100 km/soat tezlik tog'li yo'l sharoitida avariya xavfi ehtimolini oshirishi mumkinligini ko'rsatadi. Ayniqsa keskin burilishlar, ko'rinish masofasi cheklangan joylar, qiyalik va sirpanchiq qoplama mavjud bo'lgan uchastkalarda transport vositalari tezligini majburiy kamaytirish zarur. Bunda 70 km/soat umumiy xavfsiz chegara, 50-60 km/soat esa yuqori xavfli hududlar uchun tavsiya etiladigan tezlik sifatida qaraladi [7].

Amaliy chora-tadbirlar

Tog'li yo'l hududlarida xavfsiz tezlikni ta'minlash uchun doimiy yo'l belgilari bilan bir qatorda dinamik yo'l belgilari va elektron axborot panellarini qo'llash maqsadga muvofiq. Dinamik belgilar real vaqt rejimida yo'l qoplama holati, ob-havo, transport oqimi va xavfli burilishlar haqida haydovchiga ogohlantirish beradi. Bu haydovchining tezlik tanlash xulqiga bevosita ta'sir etadi va xavfli holatlarning oldini olishga yordam beradi.

Tezlikni nazorat qilish uchun radar qurilmalari, videofiksatsiya vositalari, yo'l sensorlari, GPS/IoT qurilmalari va avtomatik ma'lumot uzatish tizimlaridan foydalanish mumkin.

Chora-tadbirlarni joriy etishda xavfli burilishlar, tik pasayishlar, ko'rinish masofasi cheklangan joylar va YTHlar ko'p qayd etilgan uchastkalar ustuvor hudud sifatida tanlanishi kerak. Birinchi bosqichda ogohlantiruvchi belgilar va 70 km/soat tezlik cheklovi o'rnatiladi. Ikkinchi bosqichda elektron axborot panellari, uchinchi bosqichda esa avtomatik nazorat va ma'lumot uzatish tizimlari joriy etiladi [8].

Joriy etish mexanizmi

Taklif etilgan metodikani amaliyotga joriy etish uchun yo'l uchastkalarini xavf darajasi bo'yicha tasniflash zarur. Birinchi toifaga burilish radiusi kichik, ko'rinish masofasi cheklangan va YTHlar ko'p sodir bo'lgan uchastkalar kiritiladi. Ikkinchi toifaga qiyalik yuqori bo'lgan, og'ir yuk transporti ulushi katta va transport oqimi zichligi ortgan uchastkalar kiritiladi. Uchinchi toifaga esa ob-havo ta'sirida qoplama holati tez o'zgaradigan, tuman va muzlama ko'p kuzatiladigan hududlar kiritiladi. Har bir toifa uchun tezlikni kamaytirish choralarini alohida belgilanadi.

Joriy etishning birinchi bosqichida xavfli uchastkalar pasporti shakllantiriladi. Pasportda burilish radiusi, qiyalik, ko'rinish masofasi, qoplama holati, transport oqimi jadalligi, amaldagi tezlik va YTH statistikasi ko'rsatiladi. Ikkinchi bosqichda ishlab chiqilgan matematik model yordamida har bir uchastka uchun xavfsiz tezlik hisoblanadi. Uchinchi bosqichda hisoblangan tezlik qiymati mavjud tezlik rejimi bilan taqqoslanib, tezlikni majburiy kamaytirish zarurati aniqlanadi [3,4].

To'rtinchi bosqichda texnik vositalar tanlanadi. Bunda 70 km/soat tezlik cheklovi umumiy xavfsiz rejim sifatida, 50-60 km/soat esa keskin burilishlar, nam qoplama yoki ko'rinish masofasi cheklangan sharoitlar uchun qo'llaniladi. Beshinchi bosqichda yo'l belgilarining ko'rinishi, joylashuvi va haydovchiga ta'sir masofasi aniqlanadi. Oltinchi bosqichda tezlik nazorati natijalari qayta tahlil qilinib, model parametrlari zarur hollarda aniqlashtiriladi [8].

Muhokama

Tadqiqot natijalari tog'li yo'l hududlarida xavfsiz tezlikni belgilashda bitta universal tezlik chegarasi yetarli emasligini ko'rsatadi. Bir xil yo'l uchastkasida ham quruq qoplama, nam qoplama va sirpanchiq qoplama holatlarida xavfsiz tezlik qiymatlari farqlanadi. Shu sababli tezlikni boshqarish tizimi moslashuvchan bo'lishi, yo'lning joriy holati va transport oqimi parametrlari bilan bog'langan holda ishlashi kerak.

Taklif etilgan modelning amaliy ahamiyati shundaki, u yo'lning geometrik elementlari bilan transport oqimi va qoplama holatini yagona hisoblash jarayonida birlashtiradi. Bu yondashuv xavfli uchastkalarda tezlikni kamaytirish bo'yicha qaror qabul qilishni aniqroq va asosliroq qiladi. Ayniqsa tog'li yo'llarda burilish radiusi kichik bo'lgan hududlarda model natijalari haydovchi uchun xavfsiz tezlik chegarasini belgilashda muhim mezon bo'lib xizmat qiladi.

Modelni kelgusida yanada takomillashtirish uchun yo'l sensorlari, meteorologik kuzatuv qurilmalari va videokuzatuv tizimlaridan olinadigan ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash maqsadga muvofiq. Bunda xavfsiz tezlik qiymati doimiy emas, balki ob-havo, qoplama holati va transport oqimi zichligiga qarab avtomatik o'zgaruvchi ko'rsatkich sifatida aniqlanishi mumkin [9].

Iqtisodiy samaradorlik va ishonchlik

Taklif etilgan modelning iqtisodiy samaradorligi YTHlar sonining kamayishi orqali baholanadi. Tezlikni 100 km/soatdan 70 km/soatgacha kamaytirish keskin tormozlanishlar, egri yo'lida sirpanish, boshqaruvni yo'qotish va to'qnashuv xavfini pasaytiradi. Hisoblash natijalariga ko'ra, xavfli tog'li yo'l hududlarida tezlikni maqbullashtirish YTHlar sonini 15-30 % gacha kamaytirish imkonini beradi.

Iqtisodiy samara inson hayoti va sog'lig'ini saqlash, transport vositalariga yetkaziladigan moddiy zararlarni kamaytirish, yo'l infratuzilmasini saqlash xarajatlarini qisqartirish va transport oqimi barqarorligini oshirish hisobga shakllanadi. Taklif etilgan yondashuvning ishonchligi hisoblangan xavfsiz tezlik qiymatlarining yo'lning real geometrik va ekspluatatsion sharoitlari bilan mosligi orqali baholanadi.

Modelda $P_{av, ehtimoli} \leq P_{xavf, darajasi}$ sharti asosiy nazorat mezon sifatida qabul qilindi. Bu mezon hisoblangan tezlik xavf darajasi ruxsat etilgan chegaradan oshmasligini ko'rsatadi. Shunday qilib, tezlikni majburiy kamaytirish qarori subyektiv baholash emas, balki matematik hisob-kitob va xavf ehtimolini solishtirish asosida qabul qilinadi [10].

4. Xulosa

Tog'li yo'l hududlarida transport vositalarining xavfsiz tezligini aniqlashda yo'lning geometrik parametrlari, qoplama holati, transport oqimi intensivligi, oqim zichligi va avariyaaviylik ehtimolini kompleks hisobga olish zarurligi asosladi.

Burilish radiusiga bog'liq ruxsat etilgan tezlikni aniqlash uchun $V_{ruxsat} = a + bR$ regressiya modeli, xavfsiz tezlikni hisoblash uchun esa qoplama ilashishi, oqim zichligi va xavf darajasini hisobga oluvchi kompleks matematik model ishlab chiqildi [1].

Hisoblash natijalariga ko'ra, M-39 avtomobil yo'lining tog'li hududlarida umumiy xavfsiz tezlik sifatida 70 km/soat, yuqori xavfli burilishlar va sirpanchiq qoplama sharoitida esa 50-60 km/soat tezlik qiymatlarini qo'llash maqsadga muvofiq.

Dinamik yo'l belgilari, elektron axborot panellari, radar va videofiksatsiya tizimlarini joriy etish haydovchilarni real yo'l sharoitiga mos tezlik tanlashga undaydi hamda yo'l-transport hodisalari sonini kamaytirishga xizmat qiladi.

Ilmiy-amaliy ahamiyati

Tadqiqotda taklif etilgan yondashuvning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, tog'li yo'l hududlarida xavfsiz tezlikni aniqlash masalasi yo'l geometriyasi, transport oqimi va qoplama holatini yagona tizimda baholash orqali hal etiladi. Mavjud amaliyotda tezlik chegarasi ko'pincha umumiy yo'l toifasi yoki ma'muriy talablar asosida belgilanadi. Mazkur tadqiqotda esa tezlik chegarasi burilish radiusi, ilashish koeffitsienti, oqim zichligi va avariyaaviylik ehtimoli bilan bog'liq holda hisoblanadi. Bu esa xavfli uchastkalar uchun aniqroq va asosliroq qaror qabul qilish imkonini beradi.

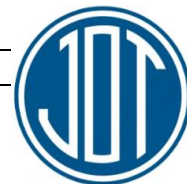
Amaliy ahamiyat shundan iboratki, ishlab chiqilgan modeldan yo'l tashkilotlari, harakat xavfsizligi bo'yicha mas'ul idoralar va loyiha tashkilotlari xavfli tog'li yo'l uchastkalarini baholashda foydalanishi mumkin. Model yordamida qaysi uchastkada 70 km/soat, qaysi uchastkada 50-60 km/soat tezlikni belgilash zarurligi asoslab beriladi. Shuningdek, dinamik yo'l belgilarining joylashuvi, elektron axborot panellarini o'rnatish nuqtalari va tezlik nazorati vositalarini tanlashda ham ushbu metodika amaliy asos bo'lib xizmat qiladi [12].

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, tog'li yo'l hududlarida tezlikni boshqarish bo'yicha uch darajali yondashuvni qo'llash tavsiya etiladi. Birinchi daraja - profilaktik ogohlantirish bo'lib, bunda xavfli burilish va qiyaliklar oldidan haydovchiga oldindan axborot beriladi. Ikkinchi daraja - majburiy tezlik cheklovi bo'lib, unda hisoblangan xavfsiz tezlikka mos yo'l belgisi o'rnatiladi. Uchinchi daraja - avtomatik nazorat bo'lib, unda radar, videofiksatsiya va sensorlar orqali haydovchilarning tezlikka rioya qilishi nazorat qilinadi [12].

Shunday qilib, ishlab chiqilgan matematik model, hisoblash algoritmi va amaliy tavsiyalar tog'li avtomobil yo'llarida harakat xavfsizligini oshirish, haydovchilarni xavfli vaziyatlar haqida oldindan ogohlantirish va yo'l-transport hodisalari sonini kamaytirishga qaratilgan kompleks yechim sifatida baholanishi mumkin. Ushbu yondashuvni boshqa tog'li avtomobil yo'llari sharoitiga moslashtirish uchun tegishli uchastkaning geometrik, transport va qoplama ko'rsatkichlarini modelga kiritish kifoya qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Ikromov A., Shokirov O. Yo'lning tog'li hududlarida transport vositalarining tezligini majburiy ravishda pasaytirish choralarini ishlab chiqish va asoslash. (M-39 yo'lining tog'li hududlari misolida) // Journal of Transport. – 2025. – T. 2. – №. 2. – C. 92-96.
- [2] O'G'li S. O. G. SHAHAR AHOLISI O'RTASIDAGI HAYDOVCHILARGA YORDAM BERISH TIZIMINI (ADAS) QO'LLASH ORQALI YO'L-TRANSPORT HODISALARINING OLDINI OLISH // Механика и технология. – 2023. – №. 2 (5) Спецвыпуск. – C. 138-145.
- [3] АВТОМОБИЛЬНАЯ П. Учредители: ОАО "Автосельхозмаш-холдинг", Министерство промышленности, науки и технологий // АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. – №. 3. – C. 10-15.
- [4] Шокиров О.Ф. Обзор моделей поведения водителей транспортных средств в ситуации, близкой к столкновению // Автоматизация. Современные технологии. Том.79. -2025. №1. -19-21 с. DOI: 10.36652/0869-4931-2025-79-1-19-21. <https://doi.org/10.36652/0869-4931-2025-79-1-19-21>.
- [5] Шокиров О.Ф. Функционирования автобусного транспорта в место паломничества // Golden Brain Scientific Journal. ISSN: 2181-4120. Vol 1. Issue 3. – February 2023. –161-166 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7605043>.
- [6] Shokirov O. G., Qadamov Q. S. THE EFFECTIVENESS OF DEVELOPING MEASURES BASED ON THE ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC



ACCIDENTS IN MOUNTAINOUS AREAS OF THE M-39 HIGHWAY //Экономика и социум. – 2025. – №. 10-2 (137). – С. 515-518.

[7] Шокиров О. Г. Меры по совершенствованию использования инновационных систем повышения безопасности транспортных средств. – 2024.

[8] Kapski, D., Semchenkov, S., Gamulsky, I., Ikromov, A., Omarov, J., & Abruev, S. (2024). Assessment measures developed to improve quality of route transport Polotsk and Novopolotsk. E3S Web of Conferences, 515, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451503003>

[9] Ikromov, A. (2023). Components modifying methods with the using of energy technologies. 060037. <https://doi.org/10.1063/5.0115559>

[10] Avdeychik, S., Goldade, V., Struk, V., Antonov, A., & Ikromov, A. (2020). THE PHENOMENON OF NANOSTATE IN MATERIAL SCIENCE OF FUNCTIONAL COMPOSITES BASED ON INDUSTRIAL POLYMERS. Theoretical & Applied Science, (7), 101-107.

[11] Shokirov O. G'. (2023). Shahar aholisi o'rtasidagi haydovchilarga yordam berish tizimini (ADAS) qo'llash orqali yo'l-transport hodisalarining oldini olish. MEXANIKA VA TEXNOLOGIYA ILMIY JURNALI, MAXSUS SON 2023, № 2 (5). 138-145.

<https://api.scienceweb.uz>

[12] <https://matador.tech/>

[13] www.yhxx.uz.

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

Shokirov
Ozod /
Ozod
Shokirov

Jizzax politexnika instituti mustaqil
izlanuvchisi
E-mail: cristow.777@gmail.com
Tel: +998905159779
<https://orcid.org/0009-0000-2124-2971>



Advantages of implementing a quality management system in healthcare institutions

B.M. Komilov¹^a

¹Andijan state technical institute, Andijan, Uzbekistan

Abstract: Quality Management Systems (QMS) are one of the main pillars of modern medical institutions and play an important role in improving patient safety, the effectiveness of medical services, and treatment outcomes. The introduction of SMT based on the standards ISO 9001:2015 and ISO 7101:2023 is of great importance in improving the quality and prestige of medical institutions.

Keywords: quality management systems, ISO 9001:2015, ISO 7101:2023, patient safety, medical institution, continuous improvement

Tibbiyot muassasalarida sifat menejmenti tizimini joriy etishning afzalliklari

Komilov B.M.¹^a

¹Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

Annotatsiya: Sifat menejmenti tizimlari (SMT) zamonaviy tibbiyot muassasalarining asosiy ustunlaridan biri bo'lib, bemor xavfsizligi, tibbiy xizmatlar ko'rsatilishining samaradorligi va davolash natijalarni yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. ISO 9001:2015 va ISO 7101:2023 standartlari asosida SMT ni joriy qilish tibbiyot muassasalarining sifati va nufuzini oshirishda katta ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: sifat menejmenti tizimlari, ISO 9001:2015, ISO 7101:2023, bemor xavfsizligi, tibbiyot muassasasi, uzluksiz takomillashtirish

1. Kirish

Zamonaviy tibbiyot tizimlarida bemor xavfsizligi, tibbiy xizmatlarning sifati va samaradorligi asosiy ustuvor yo'nalishlar hisoblanadi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (WHO) ma'lumotlariga ko'ra, yuqori daromadli mamlakatlarda har 10 bemordan biri tibbiy xizmatlar ko'rsatish jarayonida zarar ko'radi, bu esa sog'liqni saqlash tizimlariga katta iqtisodiy zarar keltiradi. Tibbiy xatolar nafaqat bemorlarning sog'lig'iga, balki muassasalarning nufuzi va moliyaviy barqarorligiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu munosabat bilan, tibbiyot muassasalarida sifat menejmenti tizimlarini (SMT) joriy etish dolzarb masala sifatida qabul qilinmoqda.[1-7]

Sifat menejmenti tizimi - bu tashkilotning sifat siyosati, maqsadlari va mas'uliyatlarini belgilaydigan, shuningdek, ularni sifat rejalashtirish, sifatni ta'minlash, sifatni nazorat qilish va sifatni yaxshilash orqali amalga oshiruvchi elementlar majmuidir. Butun dunyoda eng keng tarqalgan standartlar ISO 9001:2015 (umumiy sifat menejmenti tizimlari) va ISO 7101:2023 (sog'liqni saqlash tashkilotlari uchun maxsus sifat menejmenti) hisoblanadi.[3,7-10]

ISO 9001:2015 standarti jarayonli yondashuv, risklarni boshqarish va doimiy takomillashtirishni ta'minlaydi. Bu standart turli sohalarida qo'llanilishi mumkin bo'lib, tashkilotlarga o'z jarayonlarini tizimlashtirish, samaradorlikni oshirish va mijozlar ehtiyojlarini qondirish imkonini beradi. ISO 7101:2023 esa tibbiyot muassasalari uchun maxsus ishlab chiqilgan bo'lib, barcha jarayonlar

bemor xavfsizligi, davolash samaradorligi va tashkiliy barqarorlikni birlashtiradi. Bu standart 2023 yil oktyabr oyida e'lon qilingan bo'lib, sog'liqni saqlash tashkilotlari uchun zamonaviy sifat menejmenti yondashuvini o'zida aks ettiradi.[8-10]

ISO 7101:2023 standartining asosiy yo'nalishlari quyidagilarni o'z ichiga oladi: birinchi navbatda bemor va xodimlar xavfsizligi, xizmat sifatini yaxshilash, resurslardan samarali va oqilona foydalanish, risklar va imkoniyatlarni boshqarish, doimiy takomillashtirish. Bu standartlar tibbiy xizmatlar sifatini oshirishda, xatolarni kamaytirishda va bemorlar hamda xodimlar uchun xavfsiz muhitni yaratishda muhim rol o'ynaydi. [2]

So'nggi yillarda O'zbekiston sog'liqni saqlash tizimida ham sifat menejmenti tizimlarini joriy etish bo'yicha qator islohotlar amalga oshirilmoqda. Lekin ko'plab tibbiyot muassasalari hali ham SMT ning aniq afzalliklarini to'liq tushunmaydi yoki joriy etishda qiyinchiliklarga duch keladi. Bu muammo nafaqat O'zbekiston, balki ko'plab rivojlanayotgan mamlakatlarda ham mavjud. Shu sababli, ushbu maqolada SMT ni joriy etishning asosiy afzalliklari adabiyotlar tahlili asosida tizimli ko'rib chiqiladi.[11]

Bemor xavfsizligi tibbiy xizmatlar sifatining eng muhim ko'rsatkichlaridan biridir. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (WHO) bemor xavfsizligini tibbiyot sohasidagi global ustuvorlik sifatida e'lon qilgan. SMT ni joriy etish standartlashtirilgan protokollar, nazorat mexanizmlari va sifat ko'rsatkichlari orqali tibbiy xatolarni sezilarli darajada kamaytiradi. [6]

^a <https://orcid.org/0009-0004-4444-4815>



2. Tadqiqot metodologiyasi

Qidiruv 2015–2025 yil oralig'ida PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar bazalarida ISO 9001, ISO 7101, sifat menejmenti tizimlari, bemor xavfsizligi kalit so'zlari orqali amalga oshirildi. 40 dan ortiq qayta sharxlanuvchi ilmiy ishlar tahlil qilindi.

Bir nechta tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ISO standartlari asosida SMT joriy qilingan tibbiyot muassasalarida tibbiy xatolar 15-25 foizga kamayadi. Masalan, noto'g'ri dori berish, jarrohlik amaliyotlaridagi xatolar, bemor identifikatsiyasi xatolari, kasalxona infeksiyalari va boshqa noxush hodisalar soni sezilarli darajada pasayadi. Bir tadqiqotda ISO 9001 sertifikatlangan kasalxonalarda bemor shikoyatlari 18% ga kamaygan va bemor qoniqishi 22% ga oshgan.[12]

ISO 7101:2023 standarti bemor xavfsizligini yuqori darajada ta'minlash uchun yaratilgan bo'lib, bemor yo'qotishlari va zarar ko'rish holatlarini kamaytirishga qaratilgan. Ispaniyada 2023-2024 yillarda o'tkazilgan tadqiqot ISO 7101 standartini joriy etish bemor xavfsizligi ko'rsatkichlarini 30% gacha yaxshilaganini ko'rsatdi. [8-10]

Bundan tashqari, SMT bemor tiklanish muddatlarini qisqartiradi, qayta yotqizishlar sonini kamaytiradi va bemorlarning tibbiy xizmatlardan umumiy qoniqish darajasini oshiradi. Standartlashtirilgan davolash yo'llari va sifat ko'rsatkichlarini muntazam monitoring qilish orqali tibbiyot xodimlari o'z ishlarini doimiy ravishda takomillashtirib boradilar. Masalan, standartlashtirilgan klinik yo'riqnomalar qo'llash natijasida jarrohlik komplikatsiyalari 20–30% ga kamayishi qayd etilgan.

SMT, shuningdek, bemor markazli yondashuvini rivojlantiradi. Bu yondashuv bemorlarning ehtiyojlari, afzalliklari va qadriyatlarini tibbiy xizmatlar markaziga qo'yadi. Natijada, bemor va shifokorning muloqoti yaxshilanadi, bemorlarning davolash jarayoniga qo'shilishi oshadi va umumiy davolash natijalari yaxshilanadi.

SMT joriy etish tibbiyot muassasalarining operatsion samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Jarayonlarni standartlashtirish, resurslardan optimal foydalanish va isrofgarchilikni kamaytirish orqali kasalxonalar o'z xarajatlarini 5-15 foizga kamaytirishi mumkin. Ba'zi holatlarda, ayniqsa katta muassasalarda, iqtisod 20% ga yetishi ham mumkin. [2]

ISO 9001 standarti jarayonli yondashuvni taminlaydi, bu esa tibbiyot muassasalariga o'z jarayonlarini xaritalash, tahlil qilish va optimallashtirishga yordam beradi. Jarayonlarni vizualizatsiya qilish va tahlil qilish orqali muassasalar to'siqlarni, takrorlanuvchi ishlarni va ortiqcha bosqichlarni aniqlaydi. Natijada, bemorlarni qabul qilish vaqti qisqaradi, kutish navbatlari kamayadi va xizmat ko'rsatishning umumiy sifati yaxshilanadi. [11-12,]

Masalan, Britaniya kasalxonasida jarayonlarni optimallashtirish natijasida bemorlarni kutish vaqti 35% ga kamaygan va kunlik qabul qilinadigan bemorlar soni 25% ga oshgan. Irlandiyada ISO 9001 sertifikatlangan tibbiy markazlarda operatsion samaradorlik 18% ga oshgan va xodimlar produktivligi yaxshilangan.[12]

Bundan tashqari, SMT yuqori xatoliklarni proaktiv aniqlash va bartaraf etish imkonini beradi. Preventiv yondashuv orqali tibbiyot muassasalari murakkab va qimmat muammolarning oldini oladi, bu esa uzoq muddatda katta iqtisodiy foyda keltiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, proaktiv tizimlar yuqori xatoliklarni 15% gacha kamaytiradi. [11-12]

3. Natija va muhokamalar

Resurslardan samarali foydalanish, ayniqsa, tibbiy jihozlar, dori-darmonlar va xodimlar vaqtini boshqarishda muhim rol o'ynaydi. SMT inventarizatsiya boshqaruvi xarid jarayonlari va ta'minot zanjirini optimallashtirishga yordam beradi. Dori-darmonlar va tibbiy materiallarning ortiqcha yoki yetishmasligi muammolari kamaytirilib, optimal zaxira darajasi ta'minlanadi.

Bundan tashqari, SMT ma'lumotlarga asoslangan qarorlar qabul qilishni rivojlantiradi. Sifat ko'rsatkichlarini muntazam o'lchash va tahlil qilish orqali menejment samarali uzoq muddatli qarorlar qabul qiladi. Bu esa uzoq muddatli rejalashtirish, resurslarni taqsimlash va investitsiya qarorlarini optimallashtiradi.

ISO 9001 va ISO 7101 standartlariga muvofiq sertifikatga ega bo'lish tibbiyot muassasalariga bir nechta muhim afzalliklarni taqdim etadi. Buni quyidagi jadvalda ko'rishimiz mumkin.

1-jadval

ISO 9001 va ISO 7101 standartlari bo'yicha sertifikatlashning tibbiyot muassasalari uchun asosiy afzalliklari

№	ISO 9001:2015 va ISO 7101:2023 joriy qilishning afzalliklari
1	Xalqaro standartlarga muvofiqlik tartibga soluvchi organlar (Sog'liqni saqlash vazirligi, litsenziyalash organlari)ning talablarini qondirishni osonlashtiradi. SMT hujjatlashtirish, nazorat va monitoring jarayonlarini tashkil qiladi, bu esa tekshiruvlar va auditorlik paytida muassasaning tayyorligini ta'minlaydi. Ko'pgina mamlakatlarda sog'liqni saqlash organlari ISO sertifikatlarini tan oladi va muassasalar uchun ma'lum imtiyozlar beradi
2	ISO sertifikatlari muassasaning xalqaro obro'sini oshiradi. Bu ayniqsa, xalqaro hamkorlik, tibbiy turizm (medical tourism) va xalqaro grantlar olishda muhim ahamiyatga ega. Bemorlar, ayniqsa xorijiy bemorlar, ISO sertifikatli muassasalarga ko'proq ishonch bildiradilar. Bir tadqiqotda xalqaro bemorlarning 68%i ISO sertifikatini muassasani tanlashda muhim omil sifatida ko'rsatgan
3	sertifikatsiya jarayoni o'z-o'zidan muassasaga o'z tizimlarini tahlil qilish va yaxshilash imkonini beradi. Tashqi auditorlik (external audit) ob'ektiv baho beradi va muassasaga o'z zaif tomonlarini (weaknesses) aniqlashga yordam beradi. Auditorlik natijasida olingan tavsiyalar (recommendations) muassasa uchun yaxshilash yo'l xaritasi (improvement roadmap) yaratadi
4	ISO sertifikatlari muassasaning bozordagi raqobatbardoshligini oshiradi. Tibbiy turizm va xususiy tibbiyot sektorida sertifikat muhim differentsiatsiya omili hisoblanadi. Sertifikatli muassasalar ko'pincha yuqoriroq baho (pricing) qo'yishi va mijozlar sadoqatini (patient loyalty) oshirishi mumkin



5	ISO standarti xalqaro hamkorlik va sug'urta kompaniyalari bilan ishlashni osonlashtiradi. Ko'pgina xalqaro sug'urta kompaniyalari ISO sertifikatli muassasalarni preferred providers sifatida tan oladi
---	---

SMT ning eng muhim afzalliklaridan biri - doimiy takomillashtirish madaniyatini tashkil etishdir. ISO standartlari PDSA (Plan-Do-Study-Act) siklini qo'llashni tavsiya qiladi, bu esa tizimli va ma'lumotlarga asoslangan yondashuv orqali doimiy yaxshilanishni ta'minlaydi

PDSA sikli, shuningdek, Deming sikli (Deming Cycle) yoki Model for Improvement nomi bilan ham tanilgan. Bu sikl to'rt bosqichdan iborat:

1. Plan (Rejalashtirish): Muammoni aniqlash, ma'lumotlar to'plash, asosiy sabablarni (root causes) aniqlash, maqsad qo'yish va yaxshilash rejasini ishlab chiqish

2. Do (Amalga oshirish): Rejani kichik miqyosda sinab ko'rish (pilot loyiha), o'zgarishlarni amalga oshirish va jarayonni kuzatish

3. Study (O'rganish): Natijalarni tahlil qilish, ma'lumotlarni to'plash va baholash, kutilgan va haqiqiy natijalarni solishtirish

4. Act (Takomillashtirish): Muvaffaqiyatli o'zgarishlarni kengaytirish (scale up) yoki rejani qayta ko'rib chiqish va yangi PDSA siklini boshlash

Bu sikl tashkilotda ma'lumotlarga asoslangan qarorlar qabul qilish madaniyatini shakllantiradi. Xodimlar doimiy ravishda o'z ishlarini tahlil qiladi, muammolarni aniqlaydi

va yechimlar topadi. Bu esa tashkilotning innovatsion salohiyatini oshiradi va o'zgarishlarga moslashish qobiliyatini (adaptability) kuchaytiradi

PDSA sikli tibbiyot sohasida keng qo'llaniladi. Masalan, bir kasalxonada PDSA siklidan foydalanib, zaharlanish holatlarini erta aniqlash va davolash protokolini yaxshilash natijasida o'lim darajasi 40% ga kamaygan. Boshqa misolda, qo'l gigienasini yaxshilash loyihasi PDSA sikli orqali amalga oshirilgach, kasalxona infeksiyalari 35% ga kamaygan.

Bundan tashqari, SMT xodimlarning faol ishtiroki va mas'uliyat hissini rivojlantiradi. Jamoaviy ishlash orqali xodimlar o'zlarini tashkilotning muhim qismi sifatida his qiladilar va sifatni oshirishga faol hissa qo'shadilar. Xodimlar ko'pincha muammolarni eng yaxshi bilishadi va ularning fikrlari yaxshilash jarayonida qimmatli hisoblanadi.

SMT shuningdek, eng yaxshi amaliyotlar bilan taqqoslash va eng yaxshi amaliyotlarni ulashishni rag'batlantiradi. Muassasalar o'zlarining natijalarini boshqa muassasalar bilan taqqoslash va eng yaxshi amaliyotlarni o'rganish orqali doimiy ravishda takomillashadilar.

SMT joriy etish xodimlarning kasbiy rivojlanishi, motivatsiyasi va qoniqish darajasini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Buni quyidagi jadvalda ko'rishimiz mumkin.

2-jadval

Sifat menejmenti tizimi (SMT)ni joriy etishning xodimlarning kasbiy rivojlanishi, motivatsiyasi va qoniqish darajasiga ta'siri

№	SMT joriy qilinishining xodimlarning kasbiy faoliyatini rivojlantirishdagi o'rni
1	SMT xodimlarni muntazam o'qitish va malaka oshirish (training and competency development) dasturlarini talab qiladi. ISO standartlari xodimlarning kompetensiyasini baholash va rivojlantirish zarurligini ta'kidlaydi. Muassasalar xodimlarning bilim va ko'nikmalarini aniqlaydi, bo'shliqlarni (gaps) topadi va maqsadli o'qitish dasturlarini ishlab chiqadi.
2	aniq rollar va mas'uliyatlarni belgilash xodimlarning samaradorligini oshiradi. SMT har bir xodimning vazifalarini, mas'uliyatlarini va vakolatlarini aniq hujjatlashtirishni talab qiladi, bu esa noaniqliklarni bartaraf etadi va samarali ishlashni ta'minlaydi.
3	xodimlarning ishtiroki va fikrlarini e'tiborga olish tashkilot ichida ijobiy ish muhitini yaratadi. Ko'plab tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, SMT joriy etgan muassasalarda xodimlarning ish qoniqishi (job satisfaction) oshadi, kadrlar almashinuvi (staff turnover) kamayadi va jamoaviy ruh (team spirit) mustahkamlanadi.
4	xavfsiz ish muhiti ta'minlanadi. SMT nafaqat bemor xavfsizligi, balki xodimlar xavfsizligini (staff safety) ham ta'minlashni talab qiladi. Bu kasb kasalliklari (occupational diseases), ishchi joyidagi baxtsiz hodisalar (workplace accidents) va stressni kamaytiradi.
5	SMT xodimlar o'rtasida sifat madaniyatini (quality culture) rivojlantiradi. Xodimlar sifatni nafaqat menejmentning mas'uliyati sifatida emas, balki o'zlarining ham mas'uliyati sifatida qabul qilishadi
6	SMT xodimlar o'rtasida kommunikatsiyani yaxshilaydi. Aniq kommunikatsiya kanallari, muntazam yig'ilishlar (regular meetings) va feedback mexanizmlari xodimlar o'rtasida hamkorlikni kuchaytiradi.

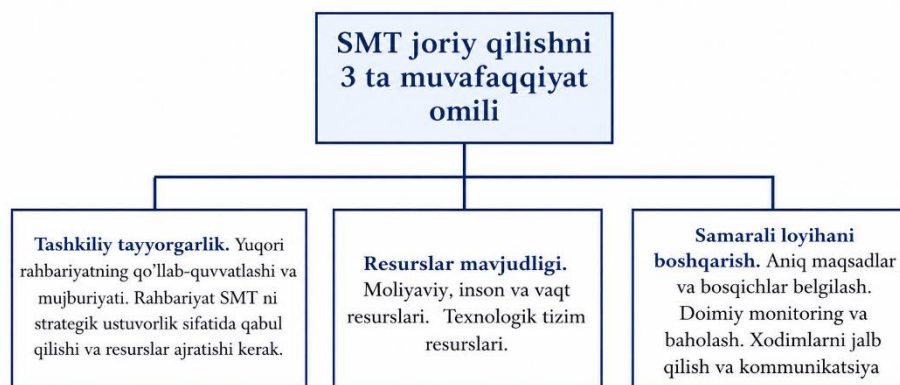
Muhokama

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, tibbiyot muassasalarida SMT ni joriy etish ko'plab afzalliklarga ega.

Lekin muvaffaqiyatli joriy etish uchun bir qator muhim omillarni hisobga olish zarur.

Tadqiqotlar uchta asosiy muvaffaqiyat omilini aniqlaydi.(1-rasm)





1-rasm. SMT joriy etishning muvaffaqiyat omillari

O'zbekiston tibbiyot muassasalari uchun SMT joriy etish ayniqsa dolzarbdir. Mamlakatda sog'liqni saqlash tizimini isloh qilish davom etmoqda va xalqaro standartlarga muvofiqlik muhim yo'nalish hisoblanadi. Lekin resurslarga cheklangan muhitda bosqichma-bosqich yondashuv qo'llash tavsiya etiladi.

4. Xulosa

Tibbiyot muassasalarida sifat menejmenti tizimini joriy etish bemor xavfsizligi, xizmatning sifati va samaradorligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Adabiyotlar tahlili asosida quyidagi asosiy afzalliklar aniqlandi. Birinchi navbatda bemor xavfsizligi va davolash natijalarini yaxshilash raqamlar bilan aytadigon bo'lsek tibbiy xatoliklarni 15-25 foizga kamaytirish, bemor davolanish muddatlarini qisqartirish va bemor qonishini oshirish bilan ifodalanadi. Shuningdek operatsion samaradorlikxa kamaytirishga jarayonlarni optimallashtirish orqali xarajatlarni 5-15 foiz ekonom qilish va xizmat ko'rsatish samaradorligiga erishish mumkin. PDSA siklini qo'llash orqali, dalillarga asoslangan qarorlar qabul qilish natijasida doimiy yaxshilanishni taminlash mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71.
- [2] Qualityze. Quality Management in Healthcare: Importance & Purpose. 2025. Available from: <https://www.qualityze.com/blogs/quality-management-healthcare>
- [3] FactoCert. How can ISO 9001 Certification in Ireland benefit healthcare sector. 2023. Available from: <https://factocert.com/iso-9001-certification-in-ireland-healthcare-sector/>
- [4] Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000100.

[5] PharmaConnections. Implementing Quality Management Systems in Healthcare. 2025. Available from: <https://pharmaconnections.in/quality-management-system-in-healthcare/>

[6] NQA. 5 benefits of ISO certification in global healthcare. 2024. Available from: <https://www.nqa.com/en-gb/resources/blog/january-2024/iso-standards-in-healthcare>

[7] Page MJ, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *PMC*. 2021. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8008539/>

[8] Megit. A Buyer's Guide To Quality Management Systems in Healthcare. 2017. Available from: <https://megit.com/buyer-guide-quality-management-healthcare>

[9] Parra D, et al. The Impact of ISO Certification Procedures on Patient Safety. *PMC*. 2025. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11942358/>

[10] DistillerSR. PRISMA Methodology for Systematic Review. 2023. Available from: <https://www.distillersr.com/resources/systematic-literature-reviews/prisma-methodology-for-systematic-review>

[11] Innovaccer. Top 5 Benefits of Healthcare Quality Management Software. 2025. Available from: <https://innovaccer.com/resources/blogs/top-5-benefits-of-quality-management-software-in-healthcare-no-one-talks-about>

[12] DNV. ISO 9001 for Healthcare. 2019. Available from: <https://www.dnv.com.au/services/iso-9001-for-healthcare-4994/>

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

Komilov
Bekzodbek
Makhmudjon
o'g'li /
Bekzodbek
Komilov

Andijon davlat texnika instituti,
Metrologiya va yengil sanoat
kafedrası o'qituvchisi
E-mail:
bekzodbekomilov94@gmail.com
Tel.: +998995176822
<https://orcid.org/0009-0004-4444-4815>



Analysis and modernization of control equipment at railway stations of JSC "Uzbekistan Railways"

S.T. Boltaev¹^a, Ch.M. Aripova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This paper analyzes the control equipment currently used at railway stations, including control panels, panel manipulators, and external display boards, with emphasis on their types, technical characteristics, and classification. The study examines the dimensions, weight, and functional capabilities of relay and route-relay interlocking control panels, as well as UP-1, UP-2, PPNB, PPNBM, TVB, and TVBU equipment currently operated at the stations of JSC "Uzbekistan Railways." The operational advantages and limitations of the existing control equipment are evaluated, and their compliance with the requirements of modern railway automation and telemechanics systems is assessed. Furthermore, the possibilities of modernizing the existing control equipment using programmable logic controllers (PLCs) and computer-based technologies are discussed. The proposed solution enables the implementation of an automated workstation for the station duty officer, supports the digitalization of control processes, reduces the influence of the human factor, and contributes to improving train traffic safety and the overall efficiency of railway station control.

Keywords:

railway transport, traffic safety, electric interlocking, control panel, panel manipulator, external display board, relay interlocking, modernization

"O'zbekiston temir yo'llari" AJ temir yo'l stansiyalaridagi boshqaruv apparatlarining tahlili va modernizatsiyasi

Boltayev S.T.¹^a, Aripova Ch.M.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Maqolada temir yo'l stansiyalarida qo'llanilayotgan boshqaruv apparatlari, jumladan pult-tablo, pult-manipulyatorlar va tashqi tablolarining turlari, texnik xususiyatlari hamda tasnifi tahlil qilingan. "O'zbekiston temir yo'llari" AJ tizimida mavjud stansiyalarda foydalanilayotgan releli va marshrut-releli markazlashtirish pultlari, UP-1, UP-2, PPNB, PPNBM, TVB va TVBU turidagi qurilmalarning gabarit o'lchamlari, massasi va funksional imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Mavjud boshqaruv apparatlarining ekspluatatsion afzalliklari va kamchiliklari baholanib, ularning zamonaviy temir yo'l avtomatika va telemexanika tizimlari talablariga muvofiqligi tahlil qilingan. Shuningdek, mavjud boshqaruv apparatlarini dasturlashtiriladigan mantiqiy kontrollerlar (PLC) va kompyuter texnologiyalari asosida modernizatsiya qilish imkoniyatlari yoritilgan. Taklif etilgan yechim stansiya navbatchisining avtomatlashtirilgan ish joyini tashkil etish, boshqaruv jarayonlarini raqamlashtirish, inson omili ta'sirini kamaytirish hamda poezdlar harakati xavfsizligi va boshqaruv samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar:

temir yo'l transporti, harakat xavfsizligi, elektr markazlashtirish, pult-tablo, pult-manipulyator, tashqi tablo, releli markazlashtirish, modernizatsiya

1. Kirish

Temir yo'l transporti mamlakat iqtisodiyotining strategik ahamiyatga ega bo'lgan tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Poezdlar harakati xavfsizligini ta'minlash, tashish jarayonlarini samarali tashkil etish va stansiyalar faoliyatini uzluksiz boshqarishda avtomatika va telemexanika tizimlari muhim o'rin tutadi. Ayniqsa, temir yo'l stansiyalarida qo'llaniladigan markazlashtirish qurilmalari hamda boshqaruv apparatlari harakat xavfsizligining asosiy kafolati sifatida namoyon bo'ladi.

"O'zbekiston temir yo'llari" AJ tizimida hozirgi kunda 286 ta temir yo'l bekati mavjud bo'lib, ularning katta qismida poezdlar harakatini boshqarishda o'tgan asrning 60–70 yillarida ishlab chiqilgan pult-tablo, pult-manipulyator va tashqi tablolaridan foydalanib kelinmoqda. Ushbu qurilmalar o'z davri uchun samarali yechim bo'lgan bo'lsa-da, bugungi kunda texnik va ekspluatatsion jihatdan qator kamchiliklarga ega. Jumladan, ularning katta gabarit o'lchamlari, yuqori energiya sarfi, texnik xizmat ko'rsatish murakkabligi, arxivlash va diagnostika imkoniyatlarining mavjud emasligi hamda funksional cheklovlar zamonaviy talablarga to'liq javob bermaydi.

^a <https://orcid.org/0000-0001-7289-7820>



So'ngi yillarda temir yo'l transportida raqamli texnologiyalar, mikroprotsessorli markazlashtirish tizimlari va intellektual boshqaruv platformalarini joriy etish dolzarb vazifaga aylanmoqda. Shu nuqtai nazardan, amalda qo'llanilayotgan boshqaruv apparatlarining turlari, ularning texnik xususiyatlari, qo'llanilish sohalari va mavjud kamchiliklarini ilmiy tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. [1]

Mazkur ishda "O'zbekiston temir yo'llari" AJ temir yo'l stansiyalarida foydalanib kelinayotgan pult-tablo, pult-manipulyator va tashqi tablolarining turlari, konstruktiv tuzilishi, texnik ko'rsatkichlari ko'rsatib o'tilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Temir yo'l stansiyalaridagi boshqaruv apparatlari va ularning tasniflanishi

Xozirgi kunda "O'zbekiston temir yo'llarida" AJ bekatlarning 73.4% da poezdlar xarakat xavfsizligini ta'minlashda 60-70 yillarda ishlab chiqilgan boshqaruv apparatlari ya'ni pult-tablo, pult-manipulyatorlar va tashqi tablolaridan foydalanib kelinmoqda. Xar bir turdagi boshqaruv apparatlardan foydalanishda stansiyalarning katta kichikligi, seksiya va strelkalarning songa axamiyat beriladi.

Elektr markazlashtirish tizimining PM-ES turidagi pult-manipulyatori va TV-ES turidagi maydon tablosi. **Pult-manipulyator** katta 50 tadan ortiq strelkali o'tkazgich mavjud stansiyalarda elektr markazlashtirish qurilmalarini boshqarish uchun xizmat qiladi. **Tashqi tablo** izolyatsiyalangan uchastkalarining holatini (bo'sh, band yoki marshrutga qo'shilganini) nazorat qilish, shuningdek strelka o'tkazgichlarining holati va signal ko'rsatkichlarini kuzatish uchun mo'ljallangan. 1- rasm.

Markazlashtirilgan stansiyaning hajmiga qarab, pult-manipulyator va tashqi tablo turli seksiyalardan yig'iladi. Pult-manipulyator uning konfiguratsiyasiga qarab **to'g'ri to'rtburchak** va **trapesiyasimon** seksiyalardan yig'iladi. Tashqi tablo esa faqat **to'g'ri to'rtburchak seksiyalardan** tuziladi.

To'g'ri to'rtburchak seksiyaning massasi **125 yoki 150 kg**, trapesiyasimon seksiyaning massasi esa **95 kg** ni tashkil qiladi.



1-rasm. Elektr markazlashtirish tizimining PM-ES turidagi pult-manipulyatori va TV-ES turidagi maydon tablosi

Releli va marshrut – releli markazlashtirish pulti. Rele va marshrut-releli markazlashtirish pulti yirik temir yo'l stansiyalarida poezdlarni qabul qilish va jo'natish marshrutlariga kiruvchi strelkalar va signallarni bevosita boshqarish uchun mo'ljallangan. Ushbu pult manevr ishlarini amalga oshirishda yo'llarning bo'shligi, strelka o'tkazgich va signallarning holati haqidagi ma'lumotlarni to'liq tarzda tabloda aks ettirib turadi. Markazlashtirilayotgan stansiyaning hajmiga qarab, pultlar

turli xil o'lchamdagi to'rt xil turdagi (A, B, V va S) alohida seksiyalarning kombinatsiyalaridan tayyorlanadi. 2-rasm.



2-rasm. Tablo turi 1A1B1V1C-II releli va marshrut – releli markazlashtirish pulti

1-jadval

Pultning seksiyalariga tegishli gabarit o'lchamlar, panellarning foydali ishchi maydoni hamda massasi

seksiya	gabarit o'lchami	ishchi maydoni	massa
A	850 - 1950 mm	725 x 800 – 1145 x 800	140 kg
B	1200 - 1950 mm	725 x 1150 – 1145 x 1150	200 kg
V	500 - 1950 mm	725 x 450 – 1145 x 450	90 kg
S	350 - 1950 mm	725 x 800 – 1145 x 800	340 kg

A, B va V seksiyalari bir-biridan gabarit o'lchamlari bilan farq qiladi. Seksiyalardagi yo'nalishi va qurilmalarning soni hamda joylashishi har bir stansiya uchun alohida ishlab chiqilgan loyiha asosida belgilanadi. S turidagi seksiya aloqa apparaturasi tugunlari, ulanish va chaqiruv tugmalari joylashtirilishi uchun mo'ljallangan. Pult formulasidagi A, B, V va S harflari seksiya turini, ulardan oldin kelgan raqamlar esa har bir turdagi seksiyalar sonini ko'rsatadi.

UP-1 va UP-2 turidagi takomillashtirilgan (unifitsirovanniy) pultlar. Takomillashtirilgan pultlar releli markazlashtirish bilan jihozlangan oraliq stansiyalarda poezdlarni qabul qilish va jo'natish marshrutlariga kiruvchi strelka o'tkazgichlari va signallarni boshqarish hamda pult tablosida yo'llar, strelkali seksiyalarning band (yoki bo'sh) holatini, strelka o'tkazgichlarining holatini va signal ko'rsatkichlarini nazorat qilish uchun mo'ljallangan. 3-rasm.

Takomillashtirilgan pultlardan qo'lda (ruchnoy) boshqariladigan strelka o'tkazgichlari mavjud va uchastkalarida avtomatik blokirovka o'rnatilgan stansiyalarda ham qo'llanilishi mumkin. Bu holda ular signal markazlashtirgichlari sifatida xizmat qiladi va faqat svetoforlarni boshqarish hamda ularning strelkalar (strelka markazlashtirgichlari) bilan o'zaro bog'liqligini ta'minlash uchun mo'ljallanadi.



3-rasm. UP-1 va UP-2 turidagi takomillashtirilgan (unifitsirovannye) pultlar

Markazlashtirilayotgan stansiyalar hajmiga qarab, takomillashtirilgan pultlar ikki xil turda tayyorlanadi: UP-1 va UP-2.

2-jadval

UP-1 va UP-2 takomillashtirilgan pultlarning tegishli gabarit o'lchamlar, massasi hamda panellarning foydali ishchi maydoni

	balandligi	gabarit o'lchami	massasi	ish maydoni
UP1	765 mm	850x350x1530 mm	130 kg	800 mm
UP2	765 mm	1200x350x1530 mm	190 kg	800 mm

Ammo takomillashtirilgan UP-1 va UP-2 pultlari 1987 yildan boshlab ishlab chiqarishdan chiqarilgan va ular o'rni PPNB hamda PPNBM turidagi pultlar joriy etilgan. Shunga qaramasdan bir qancha stansiyalarda ushbu pultlardan foydalanib kelinmoqda.

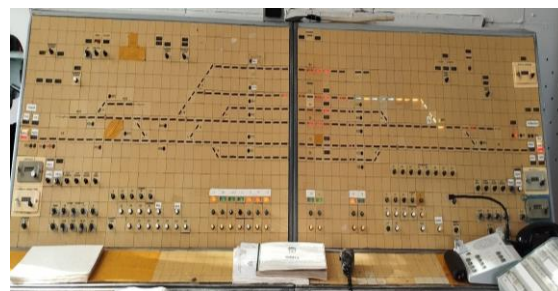
PPNB turidagi blokli elementlardan tuzilgan qiya egilgan (naklonnye) pult. Blokli elementlardan tuzilgan pult tablolar markazlashtirilgan strelka o'tkazgichlar soni 30 tadan oshmagan, oraliq stansiyalarda strelka o'tkazgichlari va signallarni boshqarish uchun mo'ljallangan. Agarda oraliq stansiyaning yo'l tarmog'i murakkab bo'lsa, markazlashtirilgan strelka o'tkazgichlar soni 30 tadan kam bo'lsa, ayrim istisno hollarda tashqi o'rnatilgan tablo va pult-manipulyator qo'llashga ruxsat beriladi. 4-rasm.



4-rasm. PPNB-1200 turidagi blokli elementlardan tuzilgan qiya egilgan (naklonnye) pult

Blokli elementlardan tuzilgan qiya egilgan pultlarning tegishli gabarit o'lchamlar, massasi hamda panellarning foydali ishchi maydoni;

PPNBM turidagi svetodiodli subbloklardan tuzilgan pult-tablolar. Svetodiodli subbloklar asosida yaratilgan PPNBM turidagi pult-tablolar markazlashtirilgan strelka o'tkazgichlar soni 30 tadan oshmagan, oraliq stansiyalarda strelka o'tkazgichlari va signallarni boshqarish uchun mo'ljallangan hisoblanadi. Ularning ishlab chiqarilishi 1999 yildan boshlangan. Agarda oraliq stansiyaning yo'l tarmog'i murakkab bo'lsa, markazlashtirilgan strelka o'tkazgichlar soni 30 tadan kam bo'lsa, ayrim istisno hollarda tashqi o'rnatilgan tablo va pult-manipulyator qo'llashga ruxsat beriladi. 5-rasm.



5-rasm. PPNBM turidagi svetodiodli subbloklardan tuzilgan pult-tablolar

PPNBM turidagi pult-tablolar — bu PPNB turidagi blokli elementlardan tuzilgan pultlarning modernizatsiya qilingan ya'ni yangilangan varianti hisoblanadi. PPNBM pult-tablolarida PPNB turidagi pultlardagi mazaykali kommutatorli lampalar o'rni svetodiodli subbloklar qo'llanilgan.

3-jadval

PPNBM pult-tablolariga tegishli gabarit o'lchamlar, hamda massasi

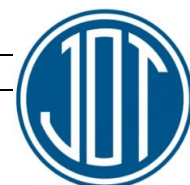
	seksiya	o'lchamlari	massasi
1	STB-1903	1200 mm - 1903 mm	185 kg
2	STB-2303	1600 mm - 2303 mm	205 kg
3	STB-2703	2000 mm - 2703 mm	225 kg

TVB turidagi tashqi blokli tablolar. Ushbu tablolar temir yo'l avtomatikasi va telemexanikasi tizimlaridagi elektr markazlashtirish hamda dispetcherlik markazlashtirish qurilmalarida strelka o'tkazgichlarning holati, signallarning ko'rsatkichlari va marshrutlarning o'rnatilishi holatini nazorat qilish uchun mo'ljallangan. Elektr markazlashtirish (ES) va dispetcherlik markazlashtirish (DS) tizimlarida ular, pultlar-manipulyatorlar bilan birgalikda qo'llaniladi. 6-rasm



6-rasm. TVB turidagi tashqi blokli tablolar

Blokli tashqi tablolardan foydalanilishda qo'llaniladigan yorug'lik (svetovoy) indikatsiya bloklari (mozaykali bloklar) 1984 yildan beri 44 xil turda ishlab chiqarishda bo'lib, ular uchun mo'ljallangan yorug'lik o'tkazgichlar (svetovodlar) esa 21 turda ishlab chiqariladi. TVB tablolari balandligi bo'yicha uch xil turdagi seksiyalardan tayyorlanadi va ularning umumiy soni uchtdan to'qqiztagacha bo'lishi mumkin.



4-jadval

TVB turidagi tashqi blokli tablo seksiyalariga tegishli o'lchamlar, hamda massasi

	gabarit o'lchami	massasi
PPNB-800-75	885x906x1460 mm	115 kg
PPNB-1200-75	1240x906x1460 mm	151kg.

TVBU turidagi svetodiodli subbloklardan tuzilgan takomil-lashtirilgan (unifitsirovannye) blokli tashqi tablolar. TVBU turidagi tablolar temir yo'l avtomatikasi va telemexanikasi tizimlaridagi elektr markazlashtirish va dispetcherlik markazlashtirish qurilmalarida strelka o'tkazgichlarining holati, signallar ko'rsatkichlari hamda marshrutlarning o'rnatilishini nazorat qilish uchun mo'ljallangan. Elektr markazlashtirish (ES) va dispetcherlik markazlashtirish (DS) tizimlarida ular **pulti-manipulyatorlar bilan birgalikda** qo'llaniladi. 7-rasm.



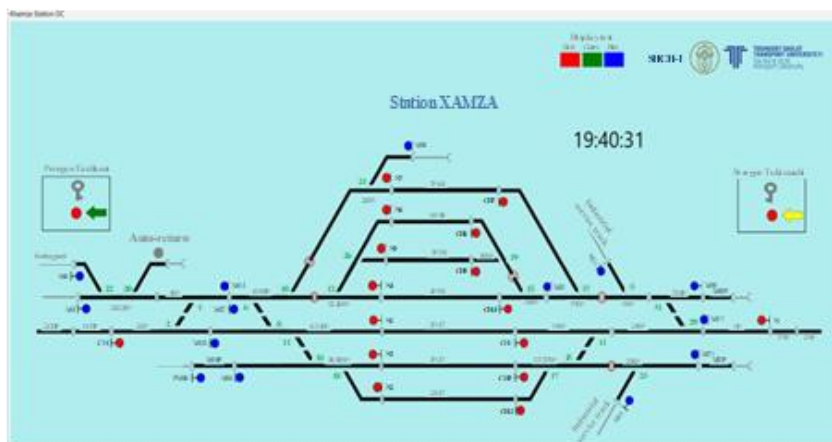
7-rasm. TVBU turidagi svetodiodli subbloklardan tuzilgan takomillashtirilgan (unifitsirovannye) blokli tashqi tablolar

TVBU turidagi tablolar — bu TVB turidagi blokli elementlardan tuzilgan tablolarining modernizatsiya ya'ni yangilangan varianti hisoblanadi.

5-jadval

Svetodiodli subbloklardan tuzilgan takomillashtirilgan (unifitsirovanniy) blokli tashqi tablo seksiyalari turlari, ularning o'lchamlari va massasi

	Seksiya	o'lchamlari	massasi
1	STBU-1503	640 mm - 1503 mm	102 kg
2	STBU-1823	960 mm - 1823 mm	119 kg
3	STBU-2143	1280 mm - 2143 mm	136 kg
	STBU-2463	1600 mm - 2463 mm	153 kg
	STBU-2783	1920 mm - 2783 mm	170 kg



8-rasm. Stansiya navbatchisi uchun ishlab chiqilgan foydalanuvchi interfeysi oynasi

Temir yo'l stansiyalarida elektr markazlashtirish tizimini moderni-zatsiya qilish va PLC asosida boshqaruvni avtomatlashtirish

Stansiya navbatchisining avtomatlashtirilgan ish joyi orqali amalga oshiriladigan boshqaruv jarayonlarining samaradorligini miqdoriy baholash uchun boshqaruv operatsiyalarini bajarish tezligi ko'rsatkichi joriy etildi. Shu nuqtai nazardan, marshrutni o'rnatish, strelkalarni o'zgartirish va signalni boshqarish kabi operatsiyalarning muvaffaqiyatli bajarilishi hisobga olindi [8]. Boshqaruv tizimining funksional samaradorligi quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$E = \frac{N_s}{T_o}$$

bu yerda, N_s — ma'lum vaqt oralig'ida muvaffaqiyatli bajarilgan boshqaruv operatsiyalari sonini, T_o esa ushbu operatsiyalarni bajarishga sarflangan umumiy vaqtni bildiradi. Mazkur ko'rsatkich avtomatlashtirilgan ish joyining tezkorligini an'anaviy boshqaruv pulti (panel-tablosi) bilan taqqoslab baholash imkonini beradi

Quyida keltirilgan funksional sxemada mavjud elektr markazlashtirish tizimiga hech qanday o'zgartirish kiritmasdan, qo'shimcha interfeys qurilmalarini qo'shish orqali stansiya boshqaruv panel-tablosini modernizatsiya qilish mumkin [16–27]. Ushbu yondashuvda dasturlashtiriladigan mantiqiy kontrollerlar (PLC) ijro etuvchi va monitoring qiluvchi qurilmalar sifatida qo'llaniladi (8-rasm). Mazkur kontrollerlar elektr markazlashtirish tizimining ijrochi guruhidan ma'lumotlarni qabul qilib, ularni stansiya navbatchisi uchun ishlab chiqilgan dasturiy interfeysga uzatadi va shu orqali stansiyaning operatsion holatini to'liq nazorat qilish imkonini beradi.

Boshqaruv panelidan beriladigan buyruqlar ijrochi guruhga uzatiladi va ular orqali stansiya jihozlari boshqariladi, jumladan strelkalarni o'zgartirish, signalni boshqarish, marshrutlarni o'rnatish hamda boshqa tegishli funksiyalar amalga oshiriladi.

Mazkur dasturiy yechim C# dasturlash tilida ishlab chiqilgan bo'lib, ishlab chiqish jarayonida Windows Presentation Foundation (WPF) platformasi va .NET Framework dasturiy muhiti qo'llanilgan. Dastur Windows va Linux operatsion tizimlarida ishlashga moslashtirilgan. Keltirilgan rasmda temir yo'l stansiyasining yo'l sxemasi hamda harakatni boshqarish holatlari aks ettirilgan bo'lib, u stansiya navbatchisining avtomatlashtirilgan ish joyi uchun mo'ljallangan dasturiy interfeysni ifodalaydi.

Dastur orqali stansiya hududidagi asosiy yo'llar, qabul qilish va jo'natish yo'llari, strelkalar hamda signal qurilmalarining joriy holati real vaqt rejimida vizual tarzda kuzatiladi. Ushbu dastur stansiya navbatchisiga poyezdlar harakatining xavfsiz va uzluksizligini ta'minlash, strelkalar holatini nazorat qilish, svetofor signallarini tekshirish hamda marshrutlarni tahlil qilish imkonini beradi. Interfeysda yo'lining band yoki bo'shligi, strelkalar holati va signal ko'rsatkichlari turli ranglar orqali aniq ko'rsatiladi. Bundan tashqari, dasturda vaqt ko'rsatkichlari, stansiya nomi va xizmat ma'lumotlari ham aks ettiriladi, bu esa navbatchining qaror qabul qilish jarayonini yengillashtiradi. Bunday avtomatlashtirilgan ish joyi inson omili bilan bog'liq xatolarni kamaytirish, harakat xavfsizligini oshirish va stansiya ish samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Stansiya navbatchisining avtomatlashtirilgan ish joyini joriy etish inson omilining ta'sirini kamaytirish imkonini berdi. Qo'lda boshqarish jarayonida operator charchashi, e'tiborning pasayishi yoki noto'g'ri qaror qabul qilinishi sababli xatar yuzaga kelishi mumkin. Avtomatlashtirilgan tizim orqali inson omilining kamayish darajasi quyidagi ifoda yordamida baholandi:

$$K_h = \frac{E_m - E_a}{E_m}$$

bu yerda, E_m — qo'lda boshqarish sharoitida qayd etilgan xatarlar sonini, E_a esa avtomatlashtirilgan tizimda aniqlangan xatarlar sonini bildiradi. Olingan natijalar avtomatlashtirilgan ish joyining poyezdlar harakati xavfsizligini oshirishda samarali ekanligini ko'rsatadi.

Dasturlashtiriladigan mantiqiy kontroller sifatida SIMATIC S7 tanlab olindi. 9-rasmda TIA Portal dasturlash muhitida LD (Ladder Diagram) tilida yozilgan dastur ko'rsatilgan. Ushbu dastur stansiya navbatchisi tomonidan beriladigan buyruqlarni elektr markazlashtirish qurilmalariga uzatish jarayonini ta'minlovchi dasturga misol sifatida keltirilgan.



9-rasm LD (Ladder Diagram) tilida yozilgan dastur namunasi

Avtomatlashtirilgan ish joyi bilan elektr markazlashtirish tizimi o'rtasidagi ma'lumot almashinuvi dasturlashtiriladigan mantiqiy kontroller (PLC) orqali amalga oshiriladi. Ushbu jarayonda ma'lumotlarning ishonchli uzatilishi harakat xavfsizligi uchun muhim omil hisoblanadi. Ma'lumot almashinuvi jarayonining ishonchliligi quyidagi bog'lanish orqali baholandi:

$$R = 1 - \frac{N_f}{N_t}$$

bu yerda, N_f — xatolik bilan qabul qilingan yoki yo'qotilgan ma'lumot paketlari sonini, N_t esa uzatilgan umumiy ma'lumot paketlari sonini bildiradi. Mazkur ko'effitsiyent PLC va dasturiy interfeys o'rtasidagi aloqa barqarorligini baholash imkonini beradi.

3. Xulosa

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, "O'zbekiston temir yo'llari" AJ tizimida faoliyat yurituvchi temir yo'l stansiyalarining asosiy qismida 1960–1990 yillarda ishlab chiqilgan boshqaruv apparatlari — pult-manipulyatorlar, pult-tablolar va tashqi tablolaridan foydalanib kelinmoqda. Ushbu qurilmalar o'z davrida harakat xavfsizligini ta'minlashda samarali texnik yechim bo'lgan bo'lsa-da, hozirgi zamon talablari nuqtai nazaridan ularning texnik, ekspluatatsion va funksional imkoniyatlari cheklangan.

Yo'l tarmog'ining murakkabligiga qarab turli konstruktiv yechimlar asosida ishlab chiqilgan. Jumladan, PM-ES va TV-ES turidagi qurilmalar yirik stansiyalar uchun, UP-1 va UP-2 turidagi pultlar oraliq stansiyalar uchun, PPNB va PPNBM turidagi pult-tablolar esa markazlashtirilgan strelkalar soni 30 tadan oshmagan stansiyalar uchun mo'ljallangan. TVB va TVBU turidagi tashqi tablolar esa harakat jarayonini vizual nazorat qilishda muhim o'rin tutadi.

Shu bilan birga, ushbu qurilmalarning katta gabarit o'lchamlari, yuqori massasi, energiya sarfining ko'pligi, texnik xizmat ko'rsatish murakkabligi, ehtiyot qismlar ta'minotidagi qiyinchiliklar hamda arxivlash va diagnostika funksiyalarining mavjud emasligi ularning ekspluatatsion samaradorligini pasaytirmoqda. Ayniqsa, mozaikali lampali indikatsiya tizimlarining ma'naviy va jismoniy eskirishi zamonaviy raqamli texnologiyalarga o'tish zaruratini yanada kuchaytirmoqda.

Xulosa qilib aytganda, amalda qo'llanilayotgan boshqaruv apparatlarini bosqichma-bosqich modernizatsiya qilish, mikroprotsessorli va raqamli markazlashtirish tizimlarini joriy etish hamda inson omilini kamaytirishga qaratilgan intellektual boshqaruv platformalarini tatbiq etish temir yo'l stansiyalarida harakat xavfsizligi va boshqaruv samaradorligini oshirishning ustuvor yo'nalishi hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Ўзбекистон Республикаси темир йўлларининг техник эксплуатация қоидалари. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги билан келишилган ҳолда тасдиқланган, 2001 йил 27 август, № 20-15-205/11. PDF ҳужjat sifatida onlayn ko'rinadi: "Ўзбекистонда темир йўллардан техник фойдаланиш Қоидалари" — PDF manzili: <https://depouzbekistan.uz/.../PД20-15>
- [2] 205/11/%D0%...pdf (internetdan topilgan havola)
- [3] Boltaev, S. T., Xokimjonov, M. Yu., & Xujamkulov, E. G. (2023). Темир йўл станцияларидаги релели электр марказлаштириш тизимларининг пульт-таблolarини компьютер бошқарувиға ўтказиш. Ресурсосберегающие технологии на транспорте, Том 2023 № 2023, 526–531. Retrieved from <https://transport-research.uz/index.php/rs-conf/issue/view/3> (мақола тўпламида)
- [4] Sapozhnikov, V. V., Kokurin, I. M., Kononov, V. A., Lykov, A. A., & Nikitin, A. B. (2006). Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики: учебник для вузов ж.-д. транспорта. Москва: Маршрут. ISBN: 5-89035-360-8. Электрон нусха: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003140844/ (rasmiy elektron katalog)



[5] Soroko, V. I., & Fot'kina, Zh. V. (2013). Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник (том 1–4). Москва: ООО «НПФ «ПЛАНЕТА». ISBN: 978-5-901307-20-5. Elektron ma'lumot:

https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_010546217/

[6] Valiev, R. Sh., & boshqalar (2006). Эксплуатационные основы проектирования двухниточного плана станции и кабельной сети стрелок, сигналов и рельсовых цепей. Екатеринбург: Издательство УрГУПС. Internet manzili mavjud emas — kitob asosan chop etilgan nashr sifatida. (URL mavjud bo'lmagani sababli URL ko'rsatilmagan, lekin bibliografiya talabiga mos.)

[7] Valiev, R. Sh., & boshqalar (2006). Эксплуатационные основы проектирования схематического плана станции. Расчет пропускной способности горловины станции. Екатеринбург: Издательство УрГУПС. Internet manzili mavjud emas — kitob asosan chop etilgan nashr sifatida. (URL ko'rsatilmagan)

[8] Sapozhnikov, V. V. et al. (2008). Микропроцессорные системы централизации: учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. Москва: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте, 396 с. PDF yoki rasmiy link: <https://oop.pgups.ru/.../main/1586849387199761093.pdf> (qisman obyektiv manba)

[9] Tig, G., & Vlasenko, S. (2009). Жаҳон темир йўлларида автоматика ва телемеханика тизимлари. Интекст Eurailpress. ISBN/DOI mavjud emas — keng tarqalgan akademik nashr sifatida joylanmaydi, lekin kitob haqida ma'lumot <https://oop.pgups.ru/...> (PDF / katalog ma'lumotlari orqali tasdiqlangan)

[10] Kosimova, Q.A., Valiyev, S.I., & Boltayev, S.T. (2022). Method and Algorithm of the Automatic Warning

System of Train Approaches to Railways. In Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022 (pp. 532–538). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM54945.2022.9787181>.

[11] Muhiddinov, O., & Boltayev, S. (2023). Route management modeling of high-speed trains on the train dispatcher section. In E3S Web of Conferences (Vol. 376). EDP Sciences.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337604033>.

<https://doi.org/10.1109/ElConRus54750.2022.9755616>.

[12] Boltayev, S.T., & Kosimova, Q.A. (2022). Railway Point Machine Control Automation Methods. In Proceedings - International Ural Conference on Measurements, UralCon (Vol. 2022-September, pp. 290–294). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/UralCon54942.2022.9906687>.

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

Boltayev
Sunnatillo
Tuymurodovich /
Sunnatillo Boltayev

Toshkent davlat transport
universiteti “Avtomatika va
telemexanika” kafedrası mudiri.
t.f.n. professor
E-mail: sunnat_3112@list.ru
Tel.: +998909571088
<https://orcid.org/0000-0001-7289-7820>

Aripova Charos
Murodjon qizi /
Charos Aripova

Toshkent davlat transport
universiteti “Avtomatika va
telemexanika” kafedrası tayanch
doktaranti.
E-mail:
charosaripova2507@gmail.com
Tel.: +998977720258



Synthesis of a relay operation algorithm aimed at creating a neural network model of its operation

A.R. Azizov¹^a, I.V. Bondarenko¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The replacement of obsolete relay devices with microprocessor-based systems has become the primary method for improving railway automation and telemechanics systems in Uzbekistan. The implementation of solutions based on microprocessor technology makes it possible to reduce operating costs through service-based maintenance methods, as well as to increase reliability due to the automatic recording and collection of data on failures, malfunctions, and other factors. At the same time, such technical solutions have a number of disadvantages. The design process, procurement of equipment, and reconstruction of individual sections requiring their shutdown from the technological process demand significant resource investments. Moreover, the rapid progress in microelectronic technologies and the tightening of transportation safety requirements lead to the rapid obsolescence of the applied digital systems and necessitate substantial investments in their modernization. The development of components combining the advantages of both systems can address these issues and minimize the associated disadvantages. This article examines the relevance of implementing neural networks and microelectronic technologies in railway automation and telemechanics devices in the context of the development of train traffic safety systems on high-speed railway sections, using the example of replacing contact relays with contactless microprocessor modules.

Keywords:

automation and telemechanics, railway transport, block route relay centralization (BRRC), relay, mathematical model, discrete mathematics, recurrent neural networks, neural network training, activation functions, error gradient, LSTM layer, dropout layer

Синтез алгоритма работы реле, с целью создания нейросетевой модели его работы

Азизов А.Р.¹^a, Бондаренко И.В.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

Замена устаревших релейных устройств на микропроцессорные комплексы стала основным методом усовершенствования систем автоматики и телемеханики на железных дорогах Узбекистана. Применение решений, построенных на микропроцессорной базе, позволяет снизить расходы на эксплуатацию за счёт сервисного метода обслуживания, а также повысить надёжность благодаря автоматическому фиксированию и сбору данных об отказах и сбоях и другим факторам. Вместе с тем подобные технические средства имеют ряд недостатков. Проектирование, приобретение оборудования, реконструкция отдельных участков с необходимостью их выключения из технологического процесса требуют значительных вложений ресурсов. Более того, прогресс в развитии микроэлектронной базы и ужесточение требований к безопасности перевозочного процесса приводят к быстрому моральному износу применяемых цифровых систем и необходимости значительных вложений в их обновление. Создание компонентов, сочетающих преимущества обеих систем, может решить данные задачи и минимизировать эти недостатки. В статье рассматривается актуальность внедрения нейронных сетей и микроэлектронных технологий в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на фоне развития систем безопасности движения поездов (БДП) на высокоскоростных участках, на примере замены контактных реле бесконтактными микропроцессорными модулями.

Ключевые слова:

автоматика и телемеханика, железнодорожный транспорт, блочная маршрутная релейная централизация (БМРЦ), реле, математическая модель, дискретная математика, рекуррентные нейронные сети, обучение нейронных сетей, функции активации, градиент ошибки, LSTM-слой, dropout-слой

^a <https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>



1. Введение

Актуальность проведённого исследования

Вопрос снижения количества аварий, крушений и травм опасных ситуаций на железных дорогах требует особого внимания со стороны его работников на протяжении всего времени существования данного вида транспорта. С момента первых аварий стало ясно, что большая часть чрезвычайных ситуаций случается по вине человеческого фактора. В связи с этим, всё большую актуальность набирает вопрос разработки и усовершенствования систем автоматизации и управления железнодорожного транспорта.

История развития систем железнодорожной автоматизации и телемеханики (СЖАТ)

Примитивные устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) появились в конце XIX века. Большая часть этих систем представляли собой немецкие и английские наработки. До начала Первой мировой войны на 87% протяжённости железных дорог применялось регулирование движением поездов, посредством телеграфно-телефонных средств и электрожелезнодорожной системы. Однако, к 1920 году, повышение спроса на перевозки железнодорожным транспортом потребовало внедрения более эффективных средств.

В период с 1930 по нынешние дни устройства СЦБ прошли большую трансформацию, от однопутной релейной четырёхзначной автоблокировки (АБ), до микропроцессорных систем. Немаловажную роль в этом вопросе сыграли и наработки в сфере полупроводников и микроэлектроники.

Развитие и эксплуатация СЖАТ на территории Узбекистана

На сегодняшний день на железных дорогах Узбекистана применяются релейные и микропроцессорные системы. Релейные системы обладают высокой надёжностью и простотой монтажа, а также десятилетиями эксплуатации, наработок и улучшений. Микропроцессорные системы нивелируют недостатки релейных систем. В частности, замена релейных систем микропроцессорными позволяет снизить расходы на эксплуатацию, за счёт сервисного метода обслуживания, повысить надёжность, благодаря автоматическому фиксированию и сбору данных об отказах и сбоях системы и ряда других факторов. Однако, малый опыт эксплуатации данных микропроцессорных систем, дороговизна приобретение и установки оборудования, ограниченный срок эксплуатации в пределах 10-15 лет, необходимость выключения участка из технологического процесса, на этапе реконструкции и отсутствия возможности унификации программного кода, требуют проведения исследования с целью оптимизации данных недостатков.

2. Методика исследования

В качестве решения, проведённой научно-исследовательской работы, рассмотрены возможности применения микропроцессорных устройств, с интеграцией нейросетевых технологий, в существующих системы БМРЦ. Такое решение позволит использовать совокупность преимуществ как

зарекомендовавших свою надёжность устаревших релейных систем, так и более современных микропроцессорных технологий.

Краткие сведения об устройстве кодовых реле в блоках БМРЦ.

Блоки БМРЦ функционально классифицируются на 2 группы: наборную и исполнительную. В рамках исследования рассмотрены блоки наборной группы, выполняющие функции формирования и фиксации набранного маршрутов.

Ключевой функциональный элемент данных блоков – нейтральные реле второго класса надёжности типа КДР1 и КДР1М (рис. 1). Принцип действия основан на явлении электромагнитной индукции. При подаче напряжения на обмотку электрическим полем создаётся магнитный поток, притягивающий ярмо. Последнее с помощью тягового механизма передаёт усилия на контакты, переключая их.

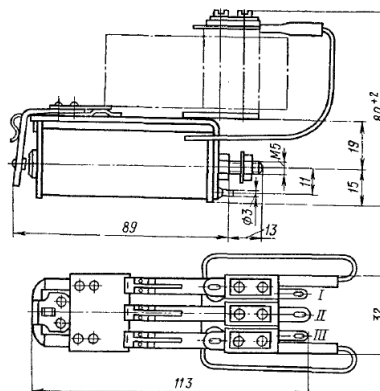


Рис.1. Принципиальная схема реле КДР1 и КДР1М

Математическая модель работы реле.

Постановка задачи: разработать математическую модель нейтрального реле, определяющую состояние его выходов (коммутацию контактов), на основе входных характеристик.

Математическая модель реле отражает его поведение, как дискретного устройства, инициализирующего его выходное состояние, в зависимости от входных параметров:

1. Активное сопротивление обмотки R_c
2. Индуктивность обмотки L_c
3. Номинальное напряжение обмотки U_n
4. Минимальное напряжение полного притяжения U_p
5. Напряжение отпускания якоря U_o
6. Время замедления на срабатывание t_c
7. Время замедления на отпускание t_o
8. Индуктивность обмотки реле L_c

Состояние реле f_c определяется его входным напряжением U , в момент времени t :

$$f_c(U(t), t) = \begin{cases} 1, \text{ при } a \\ 0, \text{ при } b \\ f(x, t) - 1, \text{ при } c \end{cases} \quad (1.1)$$

$$a = U(t) \geq U_p \text{ и } t \geq t_c \quad (1.2)$$

$$b = U(t) \leq U_o \text{ и } t \geq t_o \quad (1.3)$$

$$c = U_o < U(t) < U_p \text{ или } t_o < t < t_c \quad (1.4)$$

Наличие гистерезиса в условии коммутации модели является одним из основных факторов её надёжности.

исходя из вышеописанного, зависимость коммутационной части f_k от состояния соленоида f_c описано уравнением (2)

$$f_k(f_c) = \begin{cases} 1, & \text{при } f_c = 1 \\ 0, & \text{при } f_c = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Постоянная времени срабатывания (обесточивания) зависит от параметров индуктивности реле. Так, у реле КДР1М-120 в сердечник встроена медная гильза, вносящая замедление в его работу. Благодаря этому определяется величина скорости переходного процесса (3).

$$\tau = \frac{L_c}{R_c} \quad (3)$$

Скорость перехода определяет время, за которое обмотка окажет воздействие на контактную группу (4).

$$t_{\text{сраб.}} = -\tau * \ln \left(1 - \frac{I_{\text{сраб.}}}{I} \right) \quad (4)$$

где $I = \frac{U}{R_c}$ – установившийся ток

Формула зависимости напряжения в момент времени t от тока I и индуктивности L_c будет иметь следующий вид (5).

$$U(t) = L_c * \frac{\Delta I}{\Delta t} + R_c * I(t) \quad (5)$$

График замедления активации и обесточивания реле представлен на рис. 2.



Рис. 2. График индуктивной части реле

Модель нейронной сети.

Постановка задачи: разработать и обучить нейронную сеть прогнозирующую момент срабатывания реле в момент времени t , при заданной временной задержке t_3 , на основе имеющихся данных и параметров системы. Входными параметрами нейронной сети принять, получаемые с датчика данные о напряжении $U(t)$ и токе $I(t)$ в текущий момент времени t . Также, с целью определения качества сигнала учитывать входные данные в предыдущие моменты времени $t - n$.

Описание архитектуры. Оптимальный выбор для решения поставленной задачи – создание нейронной сети, опирающейся на входные параметры, и в то же время анализирующей свои предыдущие расчёты. С этой задачей отлично справляются рекуррентные нейронные сети, с Long Short-Term Memory (LSTM) ячейками. Такое решение снижает вероятность ошибки, делая сеть более надёжной, а её ответы более достоверными. Однако, всё ещё остаётся весомый минус сети – её склонность к переобучению. Для решения проблемы применяют Dropout-слой, нивелирующий данные недостатки. Структура сети подбиралась эмпирически, и выглядит следующим образом:

- Входные параметры – напряжение $U(t)$ и ток $I(t)$ в текущий момент времени t
- LSTM-слой (32 нейрона, метод активации – гиперболический тангенс) – анализирует входные параметры

- Dropout-слой (вероятность отсева – 0.2)
- LSTM-слой (16 нейронов, метод активации – гиперболический тангенс) – углубляет анализ входных данных

- Dropout-слой (вероятность отсева – 0.1)
- Скрытый слой (8 нейронов, метод активации – ReLU) – извлекает высокоуровневые признаки
- Выходной слой (1 нейрон, метод активации – sigmoid) – определяет вероятность включения реле

Расчёт нейронной сети. LSTM-ячейка содержит три вентиля и внутреннее состояние:

- Забывающий вентиль ($f(t)$) – решает, какую информацию забыть из состояния ячейки (6.1, 6.2);

- Входной вентиль ($i(t)$) – определяет, какую новую информацию сохранить (7.1, 7.2);

- Выходной вентиль ($o(t)$) – контролирует, что будет выведено из ячейки (8.1, 8.2);

- Состояние ячейки ($C(t)$) – «долгосрочная память» (9.1, 9.2, 9.3);

- Скрытое состояние ($h(t)$) – «краткосрочная память», выход ячейки (10.1, 10.2, 10.3, 10.4).

Функции активации вентиля определяются следующими выражениями:

$$z_f = [h_{t-1}, x_t] * W_f + b_f \quad (6.1)$$

$$f_t(z_f) = \frac{1}{1 + e^{-z_f}} \quad (6.2)$$

$$z_i = [h_{t-1}, x_t] * W_i + b_i \quad (7.1)$$

$$i_t(z_i) = \frac{1}{1 + e^{-z_i}} \quad (7.2)$$

$$z_o = [h_{t-1}, x_t] * W_o + b_o \quad (8.1)$$

$$o_t(z_o) = \frac{1}{1 + e^{-z_o}} \quad (8.2)$$

Функции активации вентиля определяются следующими выражениями:

$$z_{\bar{c}} = [h_{t-1}, x_t] * W_{\bar{c}} + b_{\bar{c}} \quad (9.1)$$

$$\bar{c}_t(z_{\bar{c}}) = \frac{e^{z_{\bar{c}}} - e^{-z_{\bar{c}}}}{e^{z_{\bar{c}}} + e^{-z_{\bar{c}}}} \quad (9.2)$$

$$C_t = f_t(z_f) \odot C_{t-1}(z_{\bar{c}}) + i_t(z_{\bar{c}}) \odot \bar{c}_t(z_{\bar{c}}) \quad (9.3)$$

Функция нейрона скрытого состояния:

$$z_h = [h_{t-1}, x_t] * W_h + b_h \quad (10.1)$$

$$O_t(z_o) = \frac{e^{z_o} - e^{-z_o}}{e^{z_o} + e^{-z_o}} \quad (10.2)$$

$$\hat{c}_t = \frac{e^{C_t} - e^{-C_t}}{e^{C_t} + e^{-C_t}} \quad (10.3)$$

$$h_t = O_t(z_o) \odot \hat{c}_t \quad (10.4)$$

Drop-out выборочно «отключает» часть нейронов во время обучения, обнуляя их выходы. Такой метод называется «коллективным обучением», тренируя нейроны выдавать точный результат, не полагаясь на другие нейроны. Математически алгоритм данного слоя реализуется следующим образом:

Пусть у нас есть слой активаций из m -элементов (11):



$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix} \quad (11)$$

Создадим маску из m случайных величин Бернулли, где p – это вероятность обнуления активации (12):

$$m_i = \begin{cases} 1, & \text{при } 1 - p \\ 0, & \text{при } p \end{cases} \quad (12)$$

Тогда на выходе получим следующий слой активаций:

$$a' = a \odot m \quad (13)$$

На этапе предсказания получаем:

$$a_{final} = a * (1 - p) \quad (14)$$

Недостатком такой системы является то, что dropout слой работает лишь при обучении. Но на этапе предсказания все нейроны слоя активны, что может вызвать дисбаланс сигнала и значительно снизить точность всей нейронной сети. Решением является замена прямого dropout на inverted dropout. Работает это следующим образом.

Во время обучения слой активации, прошедший через маску (13) проходит также масштабирование (15), чтобы сохранить среднюю силу сигнала:

$$a' = \frac{a \odot m}{1 - p} \quad (15)$$

На этапе предсказания получим (16)

$$a_{final} = a \quad (16)$$

Для функции активации нейронов скрытого слоя справедливы следующие равенства:

$$z_A = w_A * a + b_A \quad (17)$$

$$f_A(z_A) = \max(0, z_A) \quad (18)$$

Функция активации выходного слоя нейронов определена выражениями (19, 20).

$$z_o = w_o * x + b_o \quad (19)$$

$$f_o(z_o) = \frac{1}{1 + e^{-z_o}} \quad (20)$$

Расчёт функции потерь и методы обучения. Для решения задач бинарной классификации применяется функция потерь, именуемая бинарной кросс-энтропией. Данная функция (21) позволяет определить степень ошибки, что важно, для расчёта точности нейронной сети.

$$C_i = y_i * \log(f_{oi}) + (1 - y_i) * \log(1 - f_{oi}) \quad (21.1)$$

$$L(\theta) = - \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (21.2)$$

где

N – размер батча

y_i – истинное значение

f_{oi} – предсказание сети

θ – множество всех обучаемых параметров сети

Проблемы обучения рекуррентных нейронных сетей заключаются в их градиентном спуске. Градиенты уменьшаются при обратном распространении ошибки (явление исчезающего градиента), через длинные последовательности, что приводит к замедлению или полной остановке обучения, либо наоборот, становятся слишком большими, что приводит к нестабильному обучению сети. Данный вопрос решается выбором правильного оптимизатора. Результатами исследований оптимальным вариантом выбран оптимизатор Adam. Данный оптимизатор обладает характеристиками, позволяющими обеспечить быструю сходимость, и

высокую надёжность для RNN сетей. При этом градиент потерь будет иметь следующий вид (22).

$$g_t = \nabla_{\theta} L(\theta_{t-1}) = \begin{pmatrix} \frac{dL}{d\theta_1} \\ \frac{dL}{d\theta_2} \\ \vdots \\ \frac{dL}{d\theta_n} \end{pmatrix} \quad (22)$$

где θ – вектор всех обучаемых параметров сети (весов и смещений).

При этом оценка среднего градиента, будет иметь вид (23):

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * g_t \quad (23)$$

где β_1 – коэффициент затухания.

Оценка среднего градиента показывает импульс и направление движения ошибки, обеспечивая стабилизацию обучения за счёт сглаживания шума, ускорения сходимости и нивелирования столкновений с локальными минимумами.

Оценка дисперсии градиента будет иметь вид (24):

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * g_t^2 \quad (24)$$

где β_2 – коэффициент затухания.

Оценка дисперсии показывает разброс градиентов по каждому параметру. Чем ниже градиент, тем стабильнее система.

При инициализации оптимизатора векторы m_t и v_t имеют нулевые значения, что приводит к систематическому занижению оценок моментов на начальных шагах обучения. Это приводит к значительному увеличению шага, что полезно на старте, но снижает скорость обучения в дальнейшем. Во избежание данного недостатка введём коррекцию смещений (25, 26)

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (25)$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (26)$$

где $\hat{m}_t$, $\hat{v}_t$ – несмещённые оценки среднего градиента и дисперсии.

На основании полученных данных обновим параметры входных параметров (27):

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon} \quad (28)$$

где $\varepsilon = 10^{-8}$ – значение, введённое для предотвращения деления на 0;

α – скорость обучения нейронной сети (29), вычисляемая, для каждого параметра θ_t индивидуально.

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon} \quad (29)$$

3. Заключение

Исследования, приведённые в данной статье, показывают перспективные возможности применения нейронных сетей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики. Описанная реализация LSTM нейронной сети – лишь малая часть потенциала в сфере безопасности движения поездов. Несмотря на существующие ограничения, переход к нейросетевым решениям может повысить гибкость и адаптивность



систем управления, открывая новые перспективы для развития железнодорожной инфраструктуры.

Использованная литература / References

- [1] Efanov, D. V., Pogodina, T. S., Aripov, N. M., Boltayev, S. T., Azizov, A. R., Ametova, E. K., & Shakirova, F. F. (2025). Combinational Circuits Testing Based on Hsiao Codes with Self-Dual Check Functions. *Computation*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.3390/computation13010015>.
- [2] Aripov N., Sadikov A., Ubaydullayev S. Intelligent signal detectors with random moment of appearance in rail lines monitoring systems //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264.
- [3] Muhiddinov, O., & Boltayev, S. (2023). Route management modeling of high-speed trains on the train dispatcher section. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 376). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337604033>
- [4] Azizov, A., Ametova, E., Nuriddinov, Q., Ubaydullayev, S. Development, research of a model and an algorithm for organizing data transfer in a monitoring device *E3S Web of Conferences*, 2023, 371, 03069
- [5] Сапожников В.В., Никитин А.Б. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК. Наука и транспорт. – СПб.: Издательский дом ООО «Т-ПРЕССА», 2009. – С18-21.
- [6] Chen K., Miles I. C. *ITS Handbook 2000: Recommendations from the World Road Association (PIARC)*. — Boston; London: ArtechHouse, 1999. - 434 p.
- [7] Лупал Николай Васильевич. Развитие устройств СЦБ в период промышленного капитализма (1861-1900). *Автоматика на транспорте* 2016 год, том 2 №4, Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2016 год, стр. 624 – 634.
- [8] Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Станционные устройства автоматики и телемеханики. Москва «ТРАНСПОРТ» – 1990. ISBN: 5-277-00951-5, УДК: 656.25:656.21(075.32), 431 стр.
- [9] Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. Том 1, 2-е изд., переработанное и дополненное — В 2-х т. — М.: Транспорт, 1981. — 352 с.
- [10] Львов Федор Алексеевич, ТИПЫ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, Сборник публикаций научного журнала "Chronos" «Естественные

и технические науки в современном мире» Выпуск 2 (24): г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – М: Научный журнал "Chronos", 2019.– с. 25-31

[11] Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов ; [отв. ред. И.М. Макарова] ; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. - М.: Наука, 2006. - 333 с. - ISBN 5-02-033782-X (в пер.).

[12] Neural Networks and Deep Learning by Michael Nielsen / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: https://faultan.ru/articles/simple_about_complicated/simple_elm_delay/ (дата обращения: 15/04/2026).

[13] Deep Learning, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «3Blue1Brown translated by Sciberia» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RJCiYBAaIEI&list=PLZjXXN70PH5itkSPe6LTS-yPy15soOovc> (дата обращения: 15/04/2026).

[14] Нейронные сети, путь к триумфу, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «Selfedu» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=PvXDWPVJUPg&list=PLA0M1Bcd0w8xUIMIPSoiW05lDyPNPt4tf> (дата обращения: 15/04/2026).

Информация об авторах/ Information about the authors

Азизов Асадулла Рахимович / Asadulla Azizov
Ташкентский государственный транспортный университет, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»
E-mail:

azizov.asadulla@mail.ru

Тел: +998935395421

<https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>

Бондаренко Иван Викторович / Ivan Bondarenko
Ташкентский государственный транспортный университет, PhD-докторант кафедры «Автоматика и телемеханика»
E-mail:

bondarenko.ivan98@gmail.com

Тел: +998935428713



Synthesis of neural network development methods for a block route relay interlocking system, using the example of organizing train routes

A.R. Azizov¹^a, I.V. Bondarenko¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The implementation of microprocessor-based systems as an alternative to the relay-based safety control systems currently used in railway transportation processes is of key importance for the railway transport industry. Due to their compactness, service-oriented maintenance approach, and automatic logging of system operations, such systems are a significant factor in the selection of the component base for existing railway control systems. At the same time, relay-based systems are often preferred when reconstructing existing railway stations due to a number of factors. Modernization through the replacement of obsolete systems with non-contact microprocessor-based systems requires substantial expenditures at the stage of technical documentation development, as well as the need to take sections of the railway infrastructure out of service during the technological process. In most cases, the costs associated with such reconstruction projects are not economically viable. In view of the above, the task of improving individual components of obsolete systems has become increasingly relevant, as this approach makes it possible to modernize existing systems without significant capital investments. This article examines the relevance of replacing relay-contact devices in station automation systems through the integration of microprocessor technologies. In addition, the prospects for integrating neural networks as an alternative to conventional program-code algorithms are described using the study of train route-setting circuits of the direction and route category determination block (NN) of the BRRI system as an example.

Keywords:

automation and telemechanics, railway transport, block route relay centralization (BRRC), relay, mathematical model, discrete mathematics, recurrent neural networks, neural network training, activation functions, error gradient

Синтез методов разработки нейронных сетей системы блочной маршрутной релейной централизации, на примере организации маневровых маршрутов

Азизов А.Р.¹^a, Бондаренко И.В.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

Внедрение микропроцессорных комплексов в качестве альтернативы ныне эксплуатируемых релейных систем контроля безопасности процессов перевозок имеет ключевое значение в экономике железнодорожного транспорта. Благодаря компактности, сервисному методу обслуживания и автоматическому ведению действий системы являются весомым фактором при выборе компонентной базы эксплуатируемой системы. Вместе с тем, при реконструкции существующих станций большее предпочтение отдаётся релейным системам, в связи с рядом факторов. Модернизация путём замены морально-устаревших систем бесконтактными комплексами требует больших расходов на этапе разработки технической документации и необходимости выключения участков из технологического процесса. В большинстве случаев затраты на подобные реконструкции не рентабельны. В связи с вышесказанными фактами становится актуальной задача усовершенствования отдельных элементов устаревших систем, что позволит обновить существующие системы, без крупных капиталовложений. В настоящей статье рассматривается актуальность замены релейно-контактной устройств, станционных систем автоматики методом интеграции микропроцессорных технологий. Кроме того, описаны перспективы интеграции нейронных сетей в качестве альтернативы классическим алгоритмам программного кода на примере исследования схем установки поездных маршрутов блока определения направления и категории маршрутов (НН) системы БМРЦ.

 <https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>



Ключевые слова: автоматика и телемеханика, железнодорожный транспорт, блочная маршрутная релейная централизация (БМРЦ), реле, математическая модель, дискретная математика, рекуррентные нейронные сети, обучение нейронных сетей, функции активации, градиент ошибки

1. Введение

Актуальность проведённого исследования

Средства автоматизации труда переживают значительную трансформацию, формируя эволюционную среду. Развитие электронно-вычислительных технологий (ЭВТ), в качестве стандарта безопасности, снижает риск аварийных инцидентов на более ответственных этапах производства, а внедрение микропроцессорных систем (МПС) в автоматизированных технологических комплексах удешевляет эксплуатацию и упрощает обслуживание. Наглядным примером служит развитие МПС на железных дорогах, оказывающее решающее влияние на эффективность перевозок. Функционал подобных систем затруднителен в реализации при построении аналогичных устройств на морально устаревшей и исчерпавшей свой лимит релейной логике.

Тем не менее, разработка аппаратно-программных комплексов (АПК) для МПС сопряжена с рядом технических трудностей, требующих особых навыков проектирования и не позволяющих полноценно унифицировать систему ввиду разработки программного обеспечения для отдельных линий. Кроме того, интеграция МПС в уже построенных участках требует их выключения из технологического процесса на период реконструкции, приводя к существенным финансовым потерям из-за простоя. В рамках исследования проведён анализ замены релейно-контактных схем методом интеграции микропроцессорных и нейросетевых технологий, с целью разработки адаптивных алгоритмов управления, способных минимизировать затраты на индивидуальное проектирование и повысить отказоустойчивость систем.

Перспективы применения нейросетевых технологий в станционных системах автоматики и телемеханики.

Развитие искусственного интеллекта на фоне совершенствования вычислительных средств и методов математического моделирования становится альтернативой методам классического построения алгоритмов. Преимущества нейросетевых технологий заключаются в унификации их архитектуры, позволяющей ускорить проектирование отдельных узлов управления, что представляет особую важность для МПС.

Проектирование нейронной сети начинается с выбора её архитектуры. Простейшие представители – однослойные перцептроны (рис. 1) отлично справляются с решением элементарных линейных задач (линейными алгоритмами и простейшими логическими функциями). С более сложными задачами требуются более сложные модели многослойных нейронных сетей (рис. 2). Расширение архитектуры (увеличение количества слоёв) и углубление слоёв (добавление нейронов) позволяют сети выделять иерархические признаки. На первых слоях сеть обнаруживает простые элементы — края и углы объектов. На средних слоях выделяются текстуры и повторяющиеся узоры. На последних слоях

формируются сложные признаки — например, глаза или колёса автомобиля.

Этот принцип лежит в основе свёрточных нейронных сетей (CNN), которые эффективно решают задачи обработки изображений. Например, CNN распознаёт цифры на почтовых индексах, идентифицирует лица в системах безопасности или детектирует дефекты на производственных линиях. Разработка рекуррентных, в частности LSTM-нейронных сетей положила начало автоматизации отдельных процессов, наглядным примером которых является транскрибация аудиосообщений, обработка видео и характеристик приходящего сигнала (частота, временные параметры) в системах энергетики.

Чрезмерное расширение архитектуры нейронной сети может привести к переобучению. В этом случае модель идеально запоминает обучающую выборку, включая шум и случайные вариации данных, но теряет способность обобщать на новые примеры. На тестовой выборке точность резко падает, а в реальных условиях эксплуатации сеть даёт ошибочные прогнозы.

Например, если обучать CNN распознавать кошек на выборке из 1 000 изображений, где все кошки сидят на синем фоне, сеть может запомнить «синий фон = кошка» и ошибочно классифицировать синий диван как кошку.

Для предотвращения переобучения количество нейронов в слое определяется эмпирическим методом, начиная от малых значений, постепенно увеличивая до достижения нейронной сетью высокой точности решения задач, контролируя точность модели на выборке валидации. Оптимально начальные значения слоя i определяются, как среднее значение суммы количества нейронов предыдущего и следующего слоёв (1). Исходя из требований, предъявляемых к надёжности устройств автоматики и телемеханики, точность нейронной сети должна быть не ниже 99.99%.

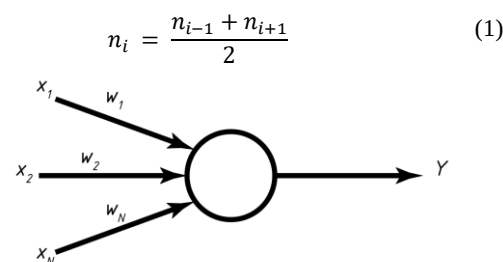


Рис. 1. Структурная схема перцептрона

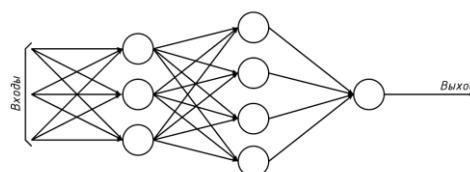
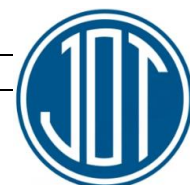


Рис. 2. Многослойная нейронная сеть

Краткие сведения о блочной маршрутной релейной централизации (БМРЦ).



Типовые проектные решения 501-0-98 «Схемы маршрутной релейной централизации МРЦ-13», разработанные в 1978 году Ленинградским проектно-исследовательским институтом по проектированию сигнализации, централизации, связи и радио на железнодорожном транспорте «Гипротрансигнализация» – документ, стандартизирующий автоматизированные системы управления станционными объектами. Разработанные в проекте схемы направлены на исключение ошибок действия персонала, проверку условий безопасности перед открытием сигнала, проверку соответствия и замыкание стрелок и сигналов в устанавливаемом маршруте и его размыкания, после прохождения состава. Схемы управления стрелками и сигналами решения заключения в блоки наборной и исполнительной группы, для упрощения проектирования и монтажа. Группы наборной группы, отвечающие за фиксацию набранного маршрута, соединяются по 4-проводной схеме управления.

В рамках исследования проведён анализ блока наборной группы определения направления и категории маршрутов (НН).

2. Методика исследования

Математическое описание принципов работы нейронной сети.

Обучение нейронной сети – процесс, подразумевающий настройку её параметров. Данный шаг необходим для минимизации ошибки, освоения навыков поиска скрытых закономерностей тремя различными методами. Обучение с учителем заключается на решении задач с неким абстрактным объектом, предоставляющим ответы. Другой метод – обучение без учителя «заставляет» нейронную сеть строить закономерности, не предоставляя правильные ответы. Обучение с подкреплением. Метод обучения сети на основе «кнута и пряника». Искусственный интеллект получает награду за правильные ответы и штрафные баллы за ошибки. Любой из вышеуказанных методов состоит из нескольких шагов. Первым этапом производится **расчёт прямого распространения**. На данной стадии определяются зависимости выходных значений от векторов входных параметров, весов и смещений. Например, для линейной архитектуры справедливы следующие векторы входа X , весов W , смещений B и слоя Z_i (1, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4):

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$W_i = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{m1} \\ w_{12} & w_{22} & \dots & w_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{1n} & w_{2n} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$W = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_i] \quad (2.2)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$B = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_i] \quad (3.2)$$

$$Z_i = W_i \times X_{i-1} + B_1 \quad (4)$$

Полученные результаты имеют разброс в неограниченных пределах. в ряде задач такой разброс излишен и требует ограничения значений выводов в

пределах $[Z_{min} \ \dots \ Z_{max}]$. для этого применяют функции активации, выбор которых определяется исходя из поставленной задачи (5).

$$Y_i = f_A(Z_i) \quad (5)$$

Следующим этапом происходит **выбор функции потерь**, с целью определения качества работы нейронной сети. Методика алгоритма предполагает сравнение эталонных значений y_i с фактически полученными на выходе нейронной сети $\bar{y}_i$. На сегодняшний день разработаны различные виды функций. Прогнозирование предсказаний, применяемое, в сферах метеосводок, финансах, энергетике, промышленности и других сферах применяют Среднеквадратичную ошибку (MSE) или более устойчивую к выбросу данных MAE - среднюю абсолютную ошибку (6, 7). Для задач классификации, актуальных в сфере фото- и видеофиксации, сложных бинарных операциях науке и так далее, уместно говорить о функциях бинарной и категориальной кросс-энтропии (8, 9).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \quad (7)$$

$$BCE = -[y_i * \lg(\bar{y}_i) + (1 - y_i) * \lg(1 - \bar{y}_i)] \quad (8)$$

$$CCE = - \sum_{i=1}^n y_i * \lg(\bar{y}_i) \quad (9)$$

где n – количество классов.

Метод обратного распространения ошибки (Backpropagation) – наиболее распространённый алгоритм вычисления зависимости изменения ошибки от изменения весов и смещений. Задачей является нахождения локального минимума, при котором функция отвечает требованиям точности. Вычисление производных матриц весов W_i и смещений B_i слоя i производится в порядке противоположном методу прямого распространения (10-12).

$$\frac{dC_i}{dW_i} = \frac{dC_i}{df_i} * \frac{df_i}{dZ_i} * \frac{dZ_i}{dW_i} \quad (10)$$

$$\frac{dC_i}{dB_i} = \frac{dC_i}{df_i} * \frac{df_i}{dZ_i} * \frac{dZ_i}{dB_i} \quad (11)$$

$$\frac{dC_i}{dX_i} = \frac{dC_i}{df_i} * \frac{df_i}{dZ_i} * \frac{dZ_i}{dX_i} \quad (12)$$

Полученные выше расчёты позволяют перейти к следующему этапу – **обновлению весов и смещений**. Данный шаг направлен на достижение стабилизации весов и смещений, направленное на создание чётких границ принятия решений, без учёта шумов, а также корректной обработки новых, ранее не встречавшихся данных. Важно понимать, что обучение нейронной сети тесно связано с различными методами оптимизации, определяющими скоростью её обучения η , как показатель эффективности обучения самообучающегося алгоритма, в зависимости от времени (13, 14). Чем выше значение скорости обучения, тем быстрее нейронная сеть обучается на начальном этапе, однако, точность такого значения снижается с каждой итерацией. Слишком низкие значения препятствуют обучению нейронных сетей.



$$W'_i = W_i - \eta * \frac{dC_i}{dW_i} \quad (13)$$

$$B'_i = B_i - \eta * \frac{dC_i}{dB_i} \quad (14)$$

Как было сказано выше, скорость обучения определяется методами её оптимизации. Простейшим из них является установка большого значения скорости в начале обучения, с постепенным уменьшением данного значения. Тем не менее широко применимы и другие методы выбора рационального параметра скорости обучения нейронной сети:

- Пакетный градиентный спуск – применяет весь обучающий набор данных, для вычисления обучающего градиента, что гарантирует минимизацию ошибки, но сильно замедляет процесс обучения.
- Стохастический градиентный спуск – использует случайные примеры из обучающего набора, чем обусловлен высокий уровень шумов
- Mini-batch градиентный спуск – более оптимальный вариант, обеспечивающий компромисс между скоростью и точностью обучения нейронной сети. Использует небольшие случайные поднаборы данных (батчи).
- Адаптивные методы – алгоритмы автоматической настройки весов и смещений, меняющие скорость обучения индивидуально для каждого параметра нейронной сети.

Помимо вышеупомянутых методы, с целью повышения качества обобщающей способности нейронной сети применяют регуляризацию – методы направленные на предотвращение переобучения нейронной сети и нормализацию – приведение к единому масштабу всех входных значений, с целью равномерного распределения приоритета входных признаков.

Анализ работы блока определения направления и категории маршрутов.

Блок определения направления и категории маршрутов - фиксация устанавливаемого маршрута, путём коммутации шин направления: Н, НМ, Ч, ЧМ, ТН, ТНМ, ТЧ, ТЧМ, ИН, ИНМ, ИЧ, ИЧМ, а также шины схем индикации направления на пульте табло. С этой целью, в схеме блока предусмотрены 6 реле: поездные – «П», «О», маневровые – «ПМ», «ОМ», вспомогательные – «ВПМ», «ВОМ», контактами которых коммутируются шины направления. Каждое реле имеет свои временные характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1
Временные характеристики реле

Наименование реле в блоке	Тип реле	Время замедления на притяжение (с)	Время замедления на отпускание (с)
ВПМ	КДР1-280	-	-
ВОМ	КДР1-280	-	-
П	КДР1М-120	-	0,15
О	КДР1М-120	-	0,15
ПМ	КДР1М-120	-	0,15
ОМ	КДР1М-120	-	0,15

Алгоритм работы блока при установке маршрута маневрового маршрута отправления. При установке маршрута отправления поезда со станции, производится проверка отключения реле других направлений и категорий («П», «О»). После чего активируется реле «ОМ» (15 – 19). Реализация схемы на логических элементах представлена на рисунке 4.

$$om = \bar{P} \& \bar{O} \& 110(M) \quad (15)$$

$$f(OM) = 29 \& ВПМ \& OM \& om \quad (16)$$

$$f(OM) = 29 \& ВОМ \& \bar{P} \& om \quad (17)$$

$$f(OM) = 210 \& OM \& om \quad (18)$$

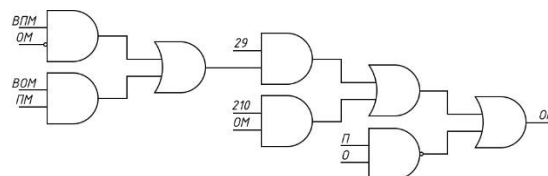


Рис. 4 Логическая схема включения реле «ОМ»

После включения реле «ОМ» активируются шины соответствующие шины коммутации маршрута приёма.

Алгоритм работы блока при установке маршрута поездного маршрута приёма. При установке маршрута отправления поезда со станции, производится проверка отключения реле других направлений и категорий («П», «О»). После чего активируется реле «ПМ» (19 – 22). Реализация схемы на логических элементах представлена на рисунке 4.

$$pm = \bar{P} \& \bar{O} \& 110(M) \quad (19)$$

$$f(PM) = 29 \& ВОМ \& ПМ \& pm \quad (20)$$

$$f(PM) = 29 \& ВПМ \& \bar{O} \& pm \quad (21)$$

$$f(PM) = 210 \& OM \& pm \quad (22)$$

После включения реле «ПМ» активируются шины соответствующие шины коммутации маршрута приёма.

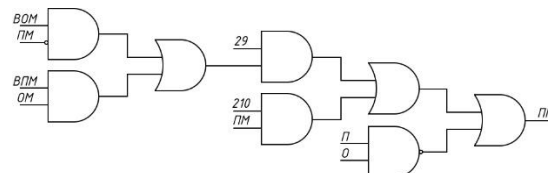


Рис. 5 Логическая схема включения реле «ПМ»

Реализация архитектуры нейронной сети.

Включение реле направления активирует соответствующие шины коммутации маневрового маршрута.

$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix} \quad (25)$$

Пропуск входного параметра a , через маску из m случайных величин Бернулли, обеспечивает выключение части нейронов слоя с вероятностью обнуления активации p (26):

$$m_i = \begin{cases} 1, & \text{при } 1 - p \\ 0, & \text{при } p \end{cases} \quad (26)$$

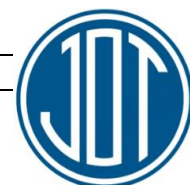
Тогда на выходе получим следующий слой активаций:

$$a' = a \odot m \quad (27)$$

На этапе предсказания получаем:

$$a_{final} = a * (1 - p) \quad (28)$$

С целью сохранения точности в момент



предсказания, хорошей практикой стало применение inverted dropout, пропускающий слой активации, прошедший через маску (28), через коэффициент масштабирования обратный вероятности отключения (29):

$$a' = \frac{a \odot m}{1 - p} \quad (29)$$

На этапе предсказания получим (30)

$$a_{final} = a \quad (30)$$

Для функции активации нейронов скрытого слоя справедливы следующие равенства:

$$z_A = w_A * a + b_A \quad (31)$$

$$f_A(z_A) = \max(0, z_A) \quad (32)$$

Функция активации выходного слоя нейронов определяется следующими выражениями.

$$z_O = w_O * x + b_O \quad (33)$$

$$f_O(z_O) = \frac{1}{1 + e^{-z_O}} \quad (34)$$

Расчёт функции потерь и методы обучения.

Функция бинарной кросс-энтропии (35.1, 35.2), выбранная как метод определения потерь, позволяет определить степень ошибки, что важно, для расчёта точности нейронной сети.

$$C_i = y_i * \log(f_{oi}) + (1 - y_i) * \log(1 - f_{oi}) \quad (35.1)$$

$$L(\theta) = - \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N} \quad (35.2)$$

где

N – размер батча

y_i – истинное значение

f_{oi} – предсказание сети

θ – множество всех обучаемых параметров сети

Уменьшающиеся (исчезающие) градиенты рекуррентных нейронных сетей, при обратном распространении ошибки, являются большой проблемой, приводящей к сильному замедления обучения, вплоть до полной остановки, или наоборот его нестабильности. С целью решения данной задачи применяют оптимизаторы. В описываемом исследовании применяется оптимизатор Adam, обеспечивающий более быструю сходимость и высокую надёжность, для рекуррентных сетей, благодаря своим характеристикам (36).

$$g_t = \nabla_{\theta} L(\theta_{t-1}) = \begin{pmatrix} \frac{dL}{d\theta_1} \\ \frac{dL}{d\theta_2} \\ \vdots \\ \frac{dL}{d\theta_n} \end{pmatrix} \quad (36)$$

где θ – вектор всех обучаемых параметров сети (весов и смещений).

Оценка среднего градиента, показывающая значение и вектор ошибки, обеспечивает стабилизацию обучения за счёт сглаживания шума, ускорения сходимости и нивелирования столкновений с локальными минимумами (37).

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * g_t \quad (37)$$

где β_1 – коэффициент затухания.

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * g_t^2 \quad (38)$$

где β_2 – коэффициент затухания.

Оценка дисперсии (38) показывает разброс

градиентов по каждому параметру. Чем ниже градиент, тем стабильнее система.

Нулевые значения векторов m_t и v_t , на этапе инициализации, приводят к систематическому занижению оценок моментов на начальных шагах обучения, что приводит к значительному увеличению шага. Данная особенность оказывает положительное влияние на начальных этапах, но в дальнейшем снижает эффективность и скорость обучения. С целью нивелирования данных недостатков применяют коррекцию смещений (39, 40)

$$\widehat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (39)$$

$$\widehat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (40)$$

где $\widehat{m}_t$, $\widehat{v}_t$ – несмещённые оценки среднего градиента и дисперсии.

Обновление весов и смещений происходит на основе вышеописанных расчётов, исходя из начальных данных и определяются выражением (40):

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\widehat{m}_t}{\sqrt{\widehat{v}_t} + \varepsilon} \quad (41)$$

где $\varepsilon = 10^{-8}$ – значение, введённое для предотвращения деления на 0;

α – скорость обучения нейронной сети (42), вычисляемая, для каждого параметра θ_t индивидуально.

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * \frac{\widehat{m}_t}{\sqrt{\widehat{v}_t} + \varepsilon} \quad (42)$$

3. Заключение

Исходя из проведённых исследований, разумно предположение о перспективности применения нейросетевых технологий в качестве метода усовершенствования систем БМРЦ на высокоскоростных участках. В частности, применение микропроцессорных технологий с интегрированными LSTM-нейронных сетей, рассмотренными в данной статье, позволить отказаться от морально устаревших и исчерпавших свой ресурс устройств на релейно-контактной логике. Алгоритмы, применяемые при написании кода нейронной сети более компактны, в сравнении с традиционными методами их построения. При этом, их применение не оказывает отрицательного содействия на качество обработки сигнала. Переход к нейросетевым решениям может повысить гибкость и адаптивность систем управления и контроля за объектами железнодорожной автоматики и телемеханики.

Использованная литература / References

- [1] Efanov, D. V., Pogodina, T. S., Aripov, N. M., Boltayev, S. T., Azizov, A. R., Ametova, E. K., & Shakirova, F. F. (2025). Combinational Circuits Testing Based on Hsiao Codes with Self-Dual Check Functions. *Computation*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.3390/computation13010015>.
- [2] Aripov N., Sadikov A., Ubaydullayev S. Intelligent signal detectors with random moment of appearance in rail lines monitoring systems //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264.



[3] Muhiddinov, O., & Boltayev, S. (2023). Route management modeling of high-speed trains on the train dispatcher section. In E3S Web of Conferences (Vol. 376). EDP Sciences.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337604033>

[4] Azizov, A., Ametova, E., Nuriddinov, Q., Ubaydullayev, S. Development, research of a model and an algorithm for organizing data transfer in a monitoring device E3S Web of Conferences, 2023, 371, 03069

[5] Сапожников В.В., Никитин А.Б. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК. Наука и транспорт. – СПб.: Издательский дом ООО «Т-ПРЕССА», 2009. – С18-21.

[6] Chen K., Miles I. C. ITS Handbook 2000: Recommendations for the World Road Association (PIARC). — Boston; London: ArtechHouse, 1999. - 434 p.

[7] Лупал Николай Васильевич. Развитие устройств СЦБ в период промышленного капитализма (1861-1900). Автоматика на транспорте 2016 год, том 2 №4, Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2016 год, стр. 624 – 634.

[8] Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Станционные устройства автоматики и телемеханики. Москва «ТРАНСПОРТ» – 1990. ISBN: 5-277-00951-5, УДК: 656.25:656.21(075.32), 431 стр.

[9] Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. Том 1, 2-е изд., переработанное и дополненное — В 2-х т. — М.: Транспорт, 1981. — 352 с.

[10] Львов Федор Алексеевич, ТИПЫ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, Сборник публикаций научного журнала "Chronos" «Естественные и технические науки в современном мире» Выпуск 2 (24): г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). — М: Научный журнал "Chronos", 2019.– с. 25-31

[11] Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов ; [отв. ред. И.М. Макарова] ; Отделение информ. технологий и вычислит.

систем РАН. - М.: Наука, 2006. - 333 с. - ISBN 5-02-033782-X (в пер.).

[12] Neural Networks and Deep Learning by Michael Nielsen /[Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: https://faultan.ru/articles/simple_about_complicated/simple_elm_delay/ (дата обращения: 15/04/2026).

[13] Deep Learning, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «3Blue1Brown translated by Sciberia» /[Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RJCiyBAaIEI&list=PLZjXXN70PH5itkSPe6LTS-yPy15soOovc> (дата обращения: 15/04/2026).

[14] Нейронные сети, путь к триумфу, Видеокурс по нейронным сетям. Youtube канал «Selfedu» /[Электронный ресурс]. – Режим доступа, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=PvXDWPVJUPg&list=PLA0M1Bcd0w8xUIMIPSoiW05lDyPNPt4tf> (дата обращения: 15/04/2026).

Информация об авторах/ Information about the authors

Азизов
Асадулла
Рахимович /
Asadulla
Azizov
Ташкентский государственный
транспортный университет,
профессор кафедры
«Автоматика и телемеханика»
E-mail:
azizov.asadulla@mail.ru
Тел: +998935395421
<https://orcid.org/0000-0002-5652-9611>

Бондаренко
Иван
Викторович /
Ivan
Bondarenko
Ташкентский государственный
транспортный университет,
PHD-докторант кафедры
«Автоматика и телемеханика»
E-mail:
bondarenko.ivan98@gmail.com
Тел: +998935428713



Sensor data-based assessment of waste container conditions and automation of regional services

S. Ochilova¹^a, A. Norboboev¹

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract: This paper develops an IoT-based smart waste management system for segregating household waste into wet, dry, and metallic categories, remotely monitoring container fill levels, and automatically notifying responsible personnel when a predefined threshold is exceeded. The proposed solution integrates an inductive metal sensor, moisture sensor, ultrasonic distance sensor, ESP32 microcontroller, server-side database, geospatial dashboard, and bot-based alert module. A sequential decision rule is introduced in which metallic objects are detected before moisture-based classification, while the fill level is estimated from the measured distance between the sensor and the waste surface. The software prototype supports regional registration and grouping of waste collection points, map-based visualization, device-status monitoring, and location-linked notifications. Functional verification confirmed the coordinated operation of the principal modules.

Keywords: Internet of Things, smart waste management, waste segregation, wet waste, dry waste, metal detection, fill-level monitoring, geospatial dashboard, bot notification

Chiqindi konteynerlari holatini sensor ma'lumotlari asosida baholash va hududiy xizmatni avtomatlashtirish

Ochilova S.¹^a, Norboboyev A.¹

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada IoT sensorlari asosida maishiy chiqindilarni ho'l, quruq va metall turlariga ajratish, konteynerlarning to'lish darajasini masofadan kuzatish hamda to'lish chegarasi oshganda mas'ul xodimga avtomatik xabar yuborishga mo'ljallangan aqlli chiqindi boshqaruv tizimi ishlab chiqilgan. Taklif etilgan yechim induktiv metall sensori, namlik sensori, ultratovush masofa sensori, ESP32 mikrokontrolleri, server ma'lumotlar bazasi, geografik monitoring paneli va bot-xabarnoma modulini yagona arxitekturaga birlashtiradi. Chiqindini tasniflashda metallni birinchi tekshiruvchi ketma-ket qaror qoidasi, konteyner to'lishini baholashda esa sensor va chiqindi yuzasi orasidagi masofaga asoslangan matematik model taklif etilgan. Dasturiy prototipda chiqindi yig'ish nuqtalarini hududiy guruhlash, xaritada ko'rsatish, qurilma holatini kuzatish va belgilangan to'lish darajasida manzilga bog'langan xabar yuborish funksiyalari amalga oshirilgan. Funksional sinovlar tizim modullarining o'zaro bog'langan holda ishlashini tasdiqladi.

Kalit so'zlar: Internet buyumlari, aqlli chiqindi boshqaruvi, chiqindini saralash, ho'l chiqindi, quruq chiqindi, metallni aniqlash, to'lish darajasi, geografik monitoring, Telegram bot

1. Kirish

Shahar va qishloq hududlarida maishiy chiqindilarni o'z vaqtida yig'ish, saralash va olib chiqish ekologik xavfsizlik hamda sanitariya holatini ta'minlashning muhim shartlaridan biridir. An'anaviy boshqaruvda konteynerlar ko'pincha belgilangan jadval asosida tekshiriladi. Bunday yondashuv konteyner hali to'lmagan bo'lsa ham transport yuborilishiga yoki aksincha, tez to'lgan nuqtada xizmatning kechikishiga olib kelishi mumkin. Natijada ortiqcha yo'l, yoqilg'i va mehnat sarfi yuzaga keladi, to'lib ketgan konteyner esa atrof-muhit va aholi salomatligi uchun salbiy omilga aylanadi.

O'zbekistonda chiqindilar bilan ishlash sohasini raqamlashtirish, GPS monitoringi, yagona axborot tizimlari va onlayn murojaat xizmatlarini rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekistonda chiqindilarni boshqarish tizimini raqamlashtirish, maxsus transport vositalarini GPS orqali nazorat qilish, elektron billing va hududiy monitoring mexanizmlarini takomillashtirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan [1]. Bu jarayonlar joylardagi chiqindi konteynerlaridan olinadigan real vaqt ma'lumotlarini boshqaruv tizimlariga uzatadigan arzon va moslashuvchan IoT yechimlariga ehtiyojni oshiradi.

^a <https://orcid.org/0009-0003-5965-5933>



Internet buyumlari texnologiyasi fizik obyekt holatini sensorlar orqali o'lish, ma'lumotni tarmoq orqali uzatish va dasturiy platformada avtomatik qaror qabul qilish imkonini beradi. Aqlli chiqindi tizimlarida ultratovush sensorlari konteynerning to'lish darajasini, namlik sensori chiqindining ho'l yoki quruqligini, induktiv sensor esa metall buyum mavjudligini aniqlashi mumkin. Mikrokontroller ushbu signallarni qayta ishlab, aktuatorlarni boshqaradi va serverga standartlashtirilgan ma'lumot paketini yuboradi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi - chiqindilarni ho'l, quruq va metall turlariga avtomatik ajratish, konteynerlarning to'lish darajasini real vaqt rejimida baholash, chiqindi nuqtalarini hududiy xaritada kuzatish hamda belgilangan chegaraga yetganda bot orqali avtomatik xabarnoma yuboruvchi integratsiyalashgan tizimni ishlab chiqishdir. Tadqiqotning ilmiy-amaliy hissi alohida sensor funksiyalarini emas, balki saralash, monitoring, geografik vizualizatsiya va manzilga bog'langan ogohlantirishni yagona boshqaruv siklida birlashtirishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Muallif **Michael Edwardsning** "Algoritmik Aqlli chiqindi boshqaruvi bo'yicha tadqiqotlar asosan besh yo'nalishda rivojlangan: konteyner to'lishini masofadan kuzatish, kam quvvatli aloqa tarmoqlari, avtomatik ogohlantirish, chiqindini sensor yoki tasvir asosida tasniflash hamda yig'ish marshrutini optimallashtirish. Cerchecci va hammualliflar ultratovush sensori hamda LoRa aloqa moduliga asoslangan kam quvvatli sensor tugunini taklif etib, uzoq muddatli avtonom ishlash uchun apparat va dasturiy energiya tejash usullarini tahlil qilgan [2]. Lozano va boshqalar LoRaWAN tugunlari, to'lish hajmi, og'irlik va harorat ma'lumotlarini yig'ish hamda ularni transport marshrutini optimallashtirish bilan bog'lagan [3].

Vishnu va hammualliflarning arxitekturasida jamoat joylari va xonadon konteynerlari uchun turli sensor tugunlari hamda markaziy monitoring paneli taklif qilingan [4]. Soh va hammualliflar konteyner to'lganda avtomatik ogohlantirish yuboradigan sodda va amaliy tizimni ishlab chiqqan [5]. Ushbu ishlar real vaqt ma'lumoti chiqindi yig'ish qarorlarini jadvaldan holatga asoslangan boshqaruvga o'tkazishini ko'rsatadi.

Chiqindini manbada saralash bo'yicha Lingaraju va hammualliflar namlik va metall sensorlari orqali chiqindini ho'l, quruq va metall kategoriyalariga ajratish, joylashuv va havo sifatini kuzatish imkoniyatini bir tizimda birlashtirgan [6]. Suvarnamma va Adi metall, plastik va shisha chiqindilarni saralash bilan birga hosil bo'lgan chiqindi miqdorini serverda qayd etuvchi SmartBin tizimini taklif qilgan [7]. Bu tadqiqotlar qayta ishlanadigan material sifatini oshirish uchun saralash jarayonini chiqindi hosil bo'lgan nuqtaning o'zida boshlash zarurligini tasdiqlaydi.

Tasvirga asoslangan usullarda Wang va hammualliflar chuqur o'rganish, bulutli hisoblash va IoT monitoringini birlashtirib, chiqindini bir nechta kategoriyaga ajratish konsepsiyasini ishlab chiqqan [8]. Rahman va boshqalar ham CNN modeli va IoT arxitekturasidan foydalanib, chiqindini real vaqt rejimida tasniflash imkoniyatini ko'rsatgan [9]. Biroq kamera va chuqur o'rganish modellariga yorug'lik, fon, tasvir bazasi va hisoblash resurslari kuchli ta'sir qiladi. Shu sababli arzon prototipning birinchi bosqichida sensorli uch sinfli tasniflash, keyingi bosqichda esa kamera orqali quruq chiqindini qog'oz, plastik, shisha kabi kichik sinflarga ajratish maqsadga muvofiq.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, ko'plab xorijiy ishlarda saralash, to'lish monitoringi, xarita, bot-xabarnoma va xizmat ko'rsatish natijasini qayd etish alohida modullar sifatida ko'rilgan. Mahalliy kommunal sharoit uchun esa bu funksiyalarni bitta operatsion platformada birlashtirish, internet uzilishlari, sensor ifloslanishi, texnik xizmat va operator uchun tushunarli interfeys masalalarini birgalikda hal qilish zarur.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Dastlab an'anaviy chiqindi boshqaruv tizimlarida uchraydigan axborot uzatishdagi kechikishlar, chiqindilarni saralash mexanizmlarining yetarli emasligi hamda konteynerlarning to'lish holatini tezkor aniqlash bilan bog'liq muammolar kompleks ravishda o'rganildi. Keyingi bosqichda tizimning apparat va dasturiy komponentlari funksional qatlamlarga ajratilib, sensorlardan keluvchi ma'lumotlarni yig'ish, uzatish, qayta ishlash va ular asosida avtomatik qaror qabul qilish algoritmlari ishlab chiqildi. Yakuniy bosqichda yaratilgan prototipning asosiy funksiyalari oldindan belgilangan nazorat ssenariylari asosida sinovdan o'tkazilib, uning ishlash barqarorligi, ma'lumotlarni uzatish izchilligi va avtomatik xabarnoma mexanizmining samaradorligi baholandi.

Tizim to'rtta qatlamdan tashkil topadi: 1) sensor va aktuatorli aqlli konteyner qatlami; 2) ESP32 asosidagi mahalliy boshqaruv qatlami; 3) Wi-Fi, GSM yoki LoRa orqali ma'lumot uzatish qatlami; 4) server, ma'lumotlar bazasi, geografik panel va bot-xabarnomadan iborat amaliy qatlam. Modulli tuzilma laboratoriya sharoitida Wi-Fi, uzoq joylashgan nuqtalarda esa GSM yoki LoRa aloqa texnologiyasidan foydalanish imkonini beradi.

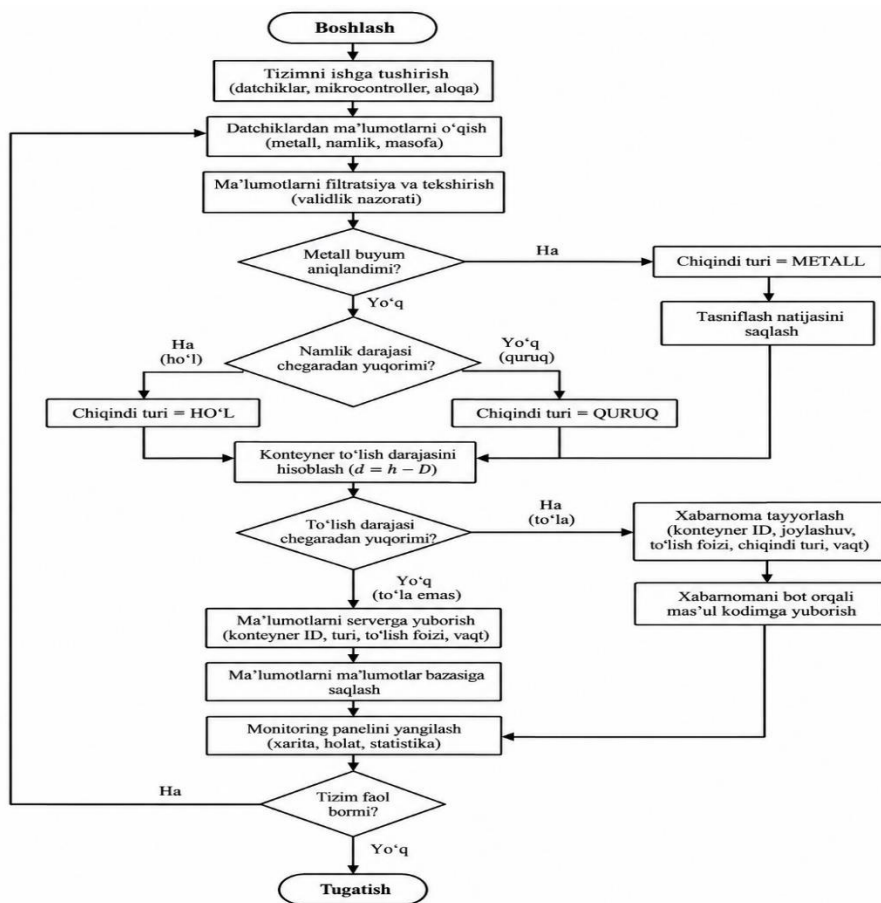
Har bir chiqindi nuqtasi tizimda noyob identifikator, nom, geografik koordinata, hududiy guruh, mas'ul xizmat va qurilma holati bilan ro'yxatdan o'tkaziladi. Sensor hodisasi serverga qurilma identifikatori, chiqindi sinfi, to'lish foizi, vaqt belgisi va holat kodi ko'rinishida uzatiladi. Bunday format turli qurilmalardan kelayotgan ma'lumotlarni bir xil tuzilishda saqlash va xaritada ko'rsatish imkonini beradi.

- Chiqindi turini aniqlash ketma-ket qaror qoidasi asosida bajariladi. Avval induktiv sensor metall xususiyatiga ega obyektni tekshiradi. Metall aniqlansa, servo yoki yo'naltiruvchi mexanizm obyektni metall konteyneriga yuboradi. Metall signal kuzatilmasa, namlik sensori o'lchovi belgilangan τ chegarasi bilan solishtiriladi. Namlik qiymati chegaradan yuqori bo'lsa obyektni ho'l, aks holda quruq chiqindi sifatida tasniflanadi.

Metallni birinchi tekshirishning sababi shundaki, nam yoki elektr o'tkazuvchan metall buyum namlik sensorida yuqori qiymat hosil qilib, ho'l chiqindi sifatida noto'g'ri tasniflanishi mumkin. Ketma-ket algoritm ushbu xatoni kamaytiradi. Biroq τ universal qiymat emas; u sensor turi, kontakt maydoni, chiqindi harorati va muhit namligiga qarab tajriba orqali kalibrlanishi lozim.

Dasturiy platformada chiqindi yig'ish nuqtalari hudud, shahar yoki tuman, xizmat ko'rsatuvchi guruh va qurilma holati bo'yicha guruhlanadi. Xarita interfeysi operatorga obyektning joylashuvi, so'nggi ma'lumot vaqti, to'lish darajasi va aniqlangan chiqindi turini ko'rish imkonini beradi. Qurilma ma'lum vaqt davomida ma'lumot uzatmasa, u oflayn deb belgilanadi va texnik tekshiruv uchun alohida xabar shakllantiriladi.





1-rasm. Chiqindilarni sensorli tasniflash va hududiy monitoring qilishning IoT asosidagi integratsiyalashgan algoritmi

Konteyner to'lish chegarasiga yetganda server botga qurilma nomi, manzil, koordinata, to'lish foizi, vaqt va tavsiya etilgan harakatni o'z ichiga olgan xabar yuboradi. Xabar faqat 'konteyner to'ldi' ma'lumotini emas, mas'ul xodimga obyektning xaritada ochish va xizmat bajarilganini tasdiqlash imkonini ham berishi kerak. Bunday qayta aloqa hodisa hayotiy siklini - aniqlash, xabar berish, qabul qilish, xizmat ko'rsatish va yopish bosqichlarini raqamli qayd etadi.

Prototipda viloyat hududidagi chiqindi yig'ish nuqtalarini yagona platformada ro'yxatlash, ularni guruh va hudud bo'yicha ko'rsatish, to'lish hodisasini bot orqali yuborish hamda obyekt holatini yangilash funksiyalari amalga oshirilgan. Bu yechim oddiy xaritadan farqli ravishda sensor ma'lumotini operatsion harakatga aylantiradi.

3. Natija va muhokamalar

Ishlab chiqilgan prototipning funksional tekshiruvi alohida modullar emas, balki to'liq hodisa zanjiri bo'yicha amalga oshirildi. Sinov ssenariylari chiqindi nuqtasini ro'yxatdan o'tkazish, xaritada ko'rsatish, ho'l, quruq va metall obyektlarni ajratish, to'lish chegarasini aniqlash, bot orqali xabar yuborish va qurilma aloqasi uzilganda holatni yangilash jarayonlarini qamrab oldi.

Funksional sinovlar asosiy modullarning rejalashtirilgan ketma-ketlikda ishlashini ko'rsatdi. Metall obyektlarda induktiv sensor asosiy qarorni berdi; metall bo'lmagan obyektlar namlik qiymatiga ko'ra ho'l yoki quruq turga yo'naltirildi. To'lish darajasi belgilangan chegaradan

oshganda serverda hodisa yaratilib, bot-xabarnoma shakllantirildi. Xarita interfeysida nuqtaning holati yangilandi.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati ko'p sensorli tasniflash qoidasi bilan hududiy operatsion boshqaruv o'rtasidagi bog'lanishni formal ifodalashda namoyon bo'ladi. Tasniflash natijasi faqat mexanik yo'naltirish uchun emas, balki serverdagi statistik yozuv, konteyner holati va kelajakdagi qayta ishlash rejasini shakllantirish uchun ham ishlatiladi. To'lish darajasiga ketma-ket o'lchovlar medianasini qo'llash notekis chiqindi yuzasidan kelib chiqadigan yolg'on ogohlantirishlarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Amaliy ahamiyat tizimning bosqichma-bosqich joriy etilishi bilan bog'liq. Dastlab muammosi ko'p va tez to'ladigan nuqtalarga sensor o'rnatish mumkin. Keyingi bosqichda butun hudud bo'yicha sensor tugunlari, LoRa yoki GSM aloqa, xizmat bajarilganini tasdiqlash va dinamik marshrut moduli qo'shiladi. Tizimning modulli tuzilishi mahalliy ishlab chiqariladigan korpus, arzon sensorlar va ochiq dasturiy vositalardan foydalanish imkonini beradi.

Taklif etilayotgan yechim farosh yoki sanitar tozalash xodimini to'liq almashtirishga emas, takroriy tekshiruvni avtomatlashtirishga qaratilgan. Xodimlar to'lgan konteyner, nosoz sensor yoki xavfli holat haqida aniq manzilli ma'lumot oladi va vaqtini haqiqiy xizmat talab qiladigan obyektlarga yo'naltiradi.

Namlik sensori chiqindining kimyoviy yoki biologik turini aniqlamaydi; u faqat namlik bilan bog'liq fizik signal beradi. Nam karton, ho'l metall yoki elektr o'tkazuvchan

aralash materiallar xato tasniflanishi mumkin. Shu bois kalibrlash, sensor kontaktini standartlashtirish va shubhali holat uchun alohida kategoriya kiritish talab etiladi. Ultrasonik sensorning natijasiga konteyner shakli, chiqindi yuzasining burchagi, chang va namlik ta'sir qiladi.

Kelgusida kamera va yengil neyron tarmoq modeli orqali quruq chiqindini qog'oz, plastik, shisha va boshqa sinflarga ajratish, to'lish tarixiga asoslangan prognozlash, transport sig'imini hisobga oluvchi dinamik marshrut, harorat va tutun sensori orqali yong'in xavfini erta aniqlash rejalashtiriladi. Qimmatbaho metall yoki pirotexnik modda haqida funksiyalar 'aniq identifikatsiya' emas, 'shubhali obyekt yoki xavf belgisi bo'yicha erta ogohlantirish' sifatida ishlab chiqilishi kerak; yakuniy tasdiq maxsus asbob va mutaxassis tomonidan amalga oshiriladi.

4. Xulosa

Maqolada IoT sensorlari asosida chiqindilarni ho'l, quruq va metall turlariga ajratish, konteyner to'lish darajasini aniqlash, chiqindi nuqtalarini hududiy xaritada kuzatish va to'lish chegarasi oshganda mas'ul xodimga avtomatik bot-xabarnoma yuborishga mo'ljallangan integratsiyalashgan tizim ishlab chiqildi.

Tizimda metall obyektini birinchi aniqlash va undan so'ng namlikka ko'ra ho'l-quruq tasniflash qoidasi taklif etildi. Konteyner to'lish darajasi ultratovush sensori bilan o'lgangan masofaga asoslangan matematik model yordamida baholandi, yolg'on xabarlarini kamaytirish uchun ketma-ket o'lchovlar medianasidan foydalanish tavsiya qilindi. Sensor, ESP32, server, ma'lumotlar bazasi, geografik panel va bot modullari yagona axborot oqimiga birlashtirildi.

Dasturiy prototipda chiqindi yig'ish nuqtalarini ro'yxatlash va guruhlash, xaritada ko'rsatish, ho'l-quruq-metall holatini qayd etish, to'lish darajasida xabar yuborish va qurilma holatini monitoring qilish funksiyalari tekshirildi. Olingan natijalar tizimning amaliy ishlash imkoniyatini ko'rsatdi. Keyingi bosqichda real konteynerlarda uzoq muddatli dala sinovlari o'tkazilib, tasniflash aniqligi, o'lchash xatosi, aloqa barqarorligi va xizmat xarajatlaridagi o'zgarish miqdoriy baholanishi lozim.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 4-yanvardagi PF-5-son "Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmoni.
- [2] Cerchecci M., Luti F., Mecocci A., Parrino S., Peruzzi G., Pozzebon A. A Low Power IoT Sensor Node Architecture for Waste Management Within Smart Cities Context. *Sensors*. 2018;18(4):1282. <https://doi.org/10.3390/s18041282>
- [3] Lozano A., Caridad J., De Paz J.F., Villarrubia González G., Bajo J. Smart Waste Collection System with Low Consumption LoRaWAN Nodes and Route Optimization. *Sensors*. 2018;18(5):1465. <https://doi.org/10.3390/s18051465>
- [4] Vishnu S., Ramson S.R.J., Senith S., Anagnostopoulos T., Abu-Mahfouz A.M., Fan X.,

Srinivasan S., Kirubaraj A.A. IoT-Enabled Solid Waste Management in Smart Cities. *Smart Cities*. 2021;4(3):1004–1017. <https://doi.org/10.3390/smartcities4030053>

[5] Soh Z.H.C., Husa M.A.A.H., Abdullah S.A.C., Shafie M.A. Smart Waste Collection Monitoring and Alert System via IoT. *Proceedings of 2019 IEEE ISCAIE*. 2019:50–54. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE.2019.8743746>

[6] Lingaraju A.K., Niranjanamurthy M., Bose P., Acharya B., Gerogiannis V.C., Kanavos A., Manika S. IoT-Based Waste Segregation with Location Tracking and Air Quality Monitoring for Smart Cities. *Smart Cities*. 2023;6(3):1507–1522. <https://doi.org/10.3390/smartcities6030071>

[7] Suvarnamma A., Jangampalli Adi P.A. SmartBin system with waste tracking and sorting mechanism using IoT. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021;5:100348. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100348>

[8] Wang C., Qin J., Qu C., Ran X., Liu C., Chen B. A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. *Waste Management*. 2021;135:20–29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.028>

[9] Rahman M.W., Islam R., Hasan A., Bithi N.I., Hasan M.M., Rahman M.M. Intelligent waste management system using deep learning with IoT. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2022;34(5):2072–2087. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.08.016>

[10] Baldo D., Mecocci A., Parrino S., Peruzzi G., Pozzebon A. A Multi-Layer LoRaWAN Infrastructure for Smart Waste Management. *Sensors*. 2021;21(8):2600. <https://doi.org/10.3390/s21082600>

[11] Ramson S.R.J., Moni D.J., Vishnu S., Anagnostopoulos T., Kirubaraj A.A., Fan X. An IoT-based bin level monitoring system for solid waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2021;23:516–525.

[12] Anagnostopoulos T., Zaslavsky A., Kolomvatsos K., Medvedev A., Amirian P., Morley J., Hadjieftymiades S. Challenges and Opportunities of Waste Management in IoT-Enabled Smart Cities: A Survey. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*. 2017;2(3):275–289.

[13] Pardini K., Rodrigues J.J.P.C., Kozlov S.A., Kumar N., Furtado V. IoT-Based Solid Waste Management Solutions: A Survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2019;8(1):5. <https://doi.org/10.3390/jsan8010005>

[14] Hannan M.A., Abdulla Al Mamun M., Hussain A., Basri H., Begum R.A. A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*. 2015;43:509–523.

[15] Sharma M., Joshi S., Kannan D., Govindan K., Singh R., Purohit H.C. Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of Cleaner Production*. 2020;270:122047. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122047>

[16] Ghahramani M., Zhou M., Molter A., Pilla F. IoT-Based Route Recommendation for an Intelligent Waste Management System. *IEEE Internet of Things Journal*. 2022;9(14):11883–11892. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3132126>

[17] Catania V., Ventura D. An approach for monitoring and smart planning of urban solid waste



management. IFAC Proceedings Volumes. 2014;47(3):8574–8579.

[18] Alkhathami M., Alshahrani M., Alqahtani A., et al. An Intelligent Waste Management Application Using IoT and a Genetic Algorithm–Fuzzy Inference System. Applied Sciences. 2023;13(6):3943. <https://doi.org/10.3390/app13063943>

[19] Ochilova S., Norboboyev A. Real-Time Waste Monitoring System Based on IoT Sensors. Academia Open. 2026;11(2):14969. <https://doi.org/10.21070/acopen.11.2026.14969>.

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

Ochilova Sojida
/ Sojida
Ochilova

Qarshi davlat texnika universiteti
“Kompyuter tizimlarining dasturiy
va texnik ta’minoti” kafedrası
katta o‘qituvchisi
E-mail:
sojida.ochilova28@gmail.com
Tel.: +998880950999
<https://orcid.org/0009-0003-5965-5933>

Norboboyev
Alibek /Alibek
Norboboev

Qarshi davlat texnika universiteti
talabasi



Current state and development prospects of heat-insulating cellular concrete for individual residential buildings

A.A. Gulomova¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes the current state of heat-insulating cellular concrete intended for individual residential buildings, as well as its physical-mechanical and thermal properties and the main development trends. The classification of cellular concrete, its role in improving the energy efficiency of buildings, and the characteristics of modern production technologies are discussed. Based on a review of recent scientific studies, the main factors affecting the properties of cellular concrete and promising directions for improving production technologies and developing resource-efficient and environmentally friendly building materials are summarized. The analysis confirms the necessity of further research aimed at developing high-performance heat-insulating cellular concrete for individual residential buildings.

Keywords: individual residential buildings, cellular concrete, foam concrete, aerated concrete, thermal insulation, energy efficiency, roof structures, thermal conductivity, physical and mechanical properties, production technology, resource efficiency, sustainable construction

Individual turar joy binolari uchun issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarning zamonaviy holati va rivojlanish istiqbollari

G'ulomova A.A.¹ 

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada individual turar joy binolari uchun mo'ljallangan issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarning zamonaviy holati, ularning fizik-mexanik va issiqlik-texnik xususiyatlari hamda rivojlanish tendensiyalari tahlil qilingan. G'ovak betonlarning tasnifi, energiya samaradorligini ta'minlashdagi o'rni va ishlab chiqarish texnologiyalarining o'ziga xos jihatlari yoritilgan. Zamonaviy ilmiy tadqiqotlar asosida material xossalari ta'sir etuvchi asosiy omillar, ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish hamda resurs tejamkor va ekologik xavfsiz qurilish materiallarini yaratishning istiqbolli yo'nalishlari umumlashtirilgan. Olib borilgan tahlillar individual turar joy binolarining yopma konstruksiyalari uchun yuqori samaradorlikka ega issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarni yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni yanada rivojlantirish zarurligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: individual turar joy binolari, g'ovak beton, ko'pikbeton, gazobeton, issiqlik izolyatsiyasi, energiya samaradorligi, yopma konstruksiyalari, issiqlik o'tkazuvchanligi, fizik-mexanik xossalari, ishlab chiqarish texnologiyasi, resurs tejamkorlik, ekologik qurilish

1. Kirish

Qurilish sohasi iqtisodiyotning resurslarni eng ko'p iste'mol qiladigan tarmoqlaridan biri bo'lib, unda energiya samaradorligini ta'minlash masalasi zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishiga aylangan. Binolarning ekspluatatsiya davridagi energiya sarfining asosiy qismi ichki mikroiklimni me'yoriy darajada saqlashga sarflanadi. Shu sababli tashqi to'siq konstruksiyalarining issiqlik-texnik ko'rsatkichlarini yaxshilash nafaqat energiya resurslarini tejash, balki bino ekspluatatsiyasi samaradorligini oshirish, uglerod chiqindilarini kamaytirish va ekologik barqaror rivojlanishni ta'minlashning muhim shartlaridan biri hisoblanadi.

Individual turar joy binolari qurilish hajmining ortib borishi, ulardan foydalanish muddatining uzoqligi hamda

energiya iste'molining yuqoriligi mazkur obyektlarda qo'llaniladigan qurilish materiallariga yangi talablarni qo'yimoqda. Ayniqsa, tom va yopma konstruksiyalari orqali sodir bo'ladigan issiqlik almashinuvi binoning umumiy energiya balansiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Amaliy kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, issiqlik yo'qotilishining salmoqli qismi aynan ushbu konstruktiv elementlar hissasiga to'g'ri keladi. Mazkur holat yopma konstruksiyalar uchun yuqori issiqlik izolyatsiyalash xususiyatiga ega, mexanik ta'sirlarga bardoshli hamda uzoq muddat ekspluatatsiya qilinadigan materiallarni yaratishni taqozo etadi.

So'nggi yillarda yengil g'ovak betonlar energiya tejamkor qurilish materiallari sifatida keng qo'llanila boshladi. Ularning past zichligi, issiqlik o'tkazuvchanligining nisbatan kichikligi, yong'inga chidamliligi va texnologik qulayligi turli konstruksiyalarda

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



foydalanish imkoniyatini kengaytirdi. Shu bilan birga, mavjud ko'pikbeton tarkiblarining aksariyatida mustahkamlik va issiqlik izolyatsiyasi o'rtasidagi optimal muvozanatni ta'minlash, suv shimuvchanligini kamaytirish, mikrostrukturani barqarorlashtirish hamda sement sarfini qisqartirish bilan bog'liq masalalar to'liq yechim topmagan.

Qurilish materiallari texnologiyasining rivojlanishida sanoat chiqindilarini ikkilamchi xomashyo sifatida qayta ishlash alohida ilmiy ahamiyat kasb etmoqda. Metallurgiya korxonalari hosil bo'ladigan po'lat eritish shlaki, ferritli nanoo'lchamli chiqindilar hamda organik modifikatorlardan oqilona foydalanish resurs tejamkorlikni ta'minlash bilan birga, sement kompozitsiyalarining strukturaviy shakllanishiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bunday yondashuv tabiiy resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarish tannaxrini pasaytirish va ekologik yuklamani qisqartirish imkonini beradi.

Jahon ilmiy maktablarida g'ovak betonlarning fizik-mexanik va issiqlik-texnik xossalarini yaxshilashga qaratilgan ko'plab tadqiqotlar amalga oshirilgan. Mineral qo'shimchalar, nanozarrachalar, kimyoviy modifikatorlar va sanoat chiqindilarining qo'llanishi bo'yicha muayyan natijalarga erishilgan bo'lsa-da, ularning aksariyati muayyan iqlim sharoiti va xomashyo bazasiga moslashtirilgan. O'zbekiston sharoitida mavjud mahalliy resurslardan foydalanish imkoniyatlari, individual turar joy binolarining konstruktiv xususiyatlari hamda mintaqaning iqlim omillari hisobga olingan ilmiy tadqiqotlar esa hali yetarli darajada umumlashtirilmagan.

Mazkur holat individual turar joy binolarining yopma konstruksiyalari uchun mo'ljallangan issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarning zamonaviy holatini kompleks tahlil qilish, ularning rivojlanish tendensiyalarini aniqlash hamda mahalliy xomashyo va sanoat chiqindilaridan foydalanishga asoslangan yangi tarkiblarni yaratishning ilmiy asoslarini ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi. Ushbu maqolada g'ovak betonlarning rivojlanish bosqichlari, ularning asosiy xossalari, qo'llanilish imkoniyatlari va istiqbolli yo'nalishlari ilmiy adabiyotlar tahlili asosida yoritilib, energiya tejamkor qurilish materiallarini yaratishning dolzarb masalalari muhokama qilinadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Qurilish tarmog'ida energiya samaradorligini oshirish masalasi alohida konstruktiv elementlarni takomillashtirish bilan cheklanmay, binoning barcha to'siq konstruksiyalarini yagona tizim sifatida baholashni talab etadi. Devorlar, tom, yopma konstruksiyalar, pol va deraza bloklarining issiqlik-texnik tavsiflari o'zaro bog'liq holda bino ichidagi mikroiklimni shakllantiradi. Mazkur elementlar orasida yopma konstruksiyalari tashqi muhitning quyosh radiatsiyasi, atmosfera yog'inlari va mavsumiy harorat o'zgarishlariga eng ko'p duchor bo'ladigan qism hisoblanadi. Shu sababli ularning issiqlik himoyasi energiya iste'molini kamaytirishda muhim o'rin egallaydi.

Yopma konstruksiyalar uchun qo'llaniladigan materiallar bir vaqtning o'zida bir necha funksiyani bajarishi lozim. Ular past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi, konstruktiv yuklarni qabul qila olishi, namlik ta'sirida xossalarini yo'qotmasligi hamda atmosfera omillariga nisbatan barqaror bo'lishi zarur. Mazkur talablarning barchasini bitta materialda mujassamlashtirish murakkab ilmiy va texnologik vazifa hisoblanadi. Shu sababli so'nggi

yillarda yengil g'ovak betonlarga bo'lgan qiziqish tobora ortmoqda.

Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan qurilish me'yorlarining takomillashuvi issiqlik izolyatsiyalovchi materiallarning yangi avlodini yaratishga turtki bermoqda. Bunday materiallar nafaqat energiya sarfini kamaytiradi, balki binolarning ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish, ichki mikroiklim barqarorligini ta'minlash va qurilishning ekologik samaradorligini oshirishga ham xizmat qiladi. Shu nuqtai nazardan g'ovak betonlarning tarkibini takomillashtirish, ularning mikrostrukturasi va fizik-mexanik xossalarini boshqarish qurilish materialshunosligining istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda.

O'zbekiston sharoitida energiya resurslaridan oqilona foydalanish bo'yicha davlat dasturlari, zamonaviy qurilish me'yorlarining joriy etilishi va energiya tejamkor uy-joylar qurilishining kengayishi issiqlik izolyatsiyalovchi qurilish materiallariga bo'lgan ehtiyojni yanada oshirmoqda. Ayniqsa, mahalliy xomashyo va sanoat chiqindilaridan foydalanish asosida ishlab chiqariladigan g'ovak betonlar iqtisodiy samaradorlik bilan bir qatorda ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkoniyatiga ham ega. Ushbu omillar individual turar joy binolarining yopma konstruksiyalari uchun mo'ljallangan yangi avlod issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarini yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni yanada dolzarb qiladi.

Qurilish materiallari texnologiyasining rivojlanishi yengil, mustahkam va yuqori issiqlik izolyatsiyalovchi xossalarga ega kompozitsion materiallarni yaratish bilan chambarchas bog'liq. G'ovak betonlar ushbu talablarga javob beruvchi materiallar guruhiga kirib, bugungi kunda fuqarolik va sanoat qurilishining turli yo'nalishlarida keng qo'llanilmoqda. Ularning asosiy afzalligi ichki tuzilishida bir tekis taqsimlangan havo g'ovaklarining mavjudligi bilan izohlanadi. Aynan ushbu g'ovaklar materialning zichligini kamaytirish bilan birga issiqlik o'tkazuvchanligini sezilarli darajada pasaytiradi.

G'ovak betonlar hosil bo'lish texnologiyasiga ko'ra bir necha turlarga ajratiladi. Amaliyotda eng ko'p tarqalgan turlari gazobeton, ko'pikbeton hamda gaz-ko'pikbeton hisoblanadi. Ularning har biri ishlab chiqarish texnologiyasi, g'ovak hosil qilish usuli, fizik-mexanik xossalari va qo'llanish sohasi bilan bir-biridan farqlanadi.

Gazobeton tarkibida g'ovaklar kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'ladi. Oqartirilgan sement qorishmasiga alyuminiy kukuni yoki boshqa gaz hosil qiluvchi komponent qo'shilganda vodorod ajralib chiqadi va material hajmi ortadi. Keyinchalik mahsulot avtoklavda yuqori bosim ostida qotiriladi. Mazkur texnologiya yuqori aniqlikdagi geometrik o'lchamlarni ta'minlashda, ishlab chiqarish uchun katta energiya sarfi va murakkab texnologik uskunalarni talab qiladi.

Ko'pikbeton esa tayyor ko'pikni sementli qorishmaga mexanik usulda aralashtirish orqali olinadi. Bunda g'ovaklar oldindan hosil qilingan ko'pik hisobiga shakllanadi. Mazkur texnologiyaning asosiy afzalligi ishlab chiqarish jarayonining soddaligi, avtoklav uskunalarini talab etmasligi hamda turli zichlikdagi mahsulotlarni olish imkoniyatidir. Shu sababli ko'pikbeton individual turar joy binolari qurilishida, ayniqsa yopma konstruksiyalar uchun istiqbolli material sifatida keng e'tibor qozonmoqda.

Gaz-ko'pikbeton texnologiyasi esa gaz hosil qilish va ko'pik hosil qilish usullarining kombinatsiyasiga asoslanadi.



Ushbu usul orqali g'ovaklarning bir tekis taqsimlanishiga erishish mumkin bo'lsa-da, texnologik jarayonning murakkabligi ishlab chiqarish tannarxining oshishiga olib keladi. Shu sababli mazkur material sanoatda ko'pikbeton va gazobetonga nisbatan kamroq qo'llaniladi.

Materialning ekspluatatsion ko'rsatkichlari faqat g'ovaklar soniga emas, balki ularning shakli, o'lchami, yopiq yoki ochiq holatda joylashganligiga ham bog'liq. Bir xil zichlikka ega ikki turdagi ko'pikbeton namunasi g'ovaklar tuzilishidagi farq sababli mutlaqo turlicha mustahkamlik va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlarini namoyon qilishi mumkin. Shu bois zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda g'ovaklar geometriyasini boshqarish material tarkibini optimallashtirishning asosiy yo'nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda.

Shunga qaramay, mavjud ko'pikbeton tarkiblarining ayrim kamchiliklari saqlanib qolmoqda. Ularga g'ovaklarning notekis shakllanishi, suv shimuvchanligining nisbatan yuqoriligi, past zichliklarda mustahkamlikning kamayishi va sement sarfining kattaligi kiradi. Mazkur muammolarni bartaraf etish uchun mineral qo'shimchalar, nanomodifikatorlar va sanoat chiqindilaridan foydalanishga asoslangan yangi tarkiblarni yaratish bo'yicha tadqiqotlar tobora kengayib bormoqda.

3. Natija va muhokamalar

G'ovak betonlarning ekspluatatsion xossalari material tarkibini tashkil etuvchi komponentlar, g'ovaklar tuzilishi hamda ishlab chiqarish texnologiyasi bilan uzviy bog'liq. Bir xil zichlikka ega bo'lgan namunalar ham ichki strukturadagi farqlar sababli turlicha mustahkamlik, issiqlik o'tkazuvchanlik va suv shimuvchanligi ko'rsatkichlarini namoyon etishi mumkin. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda materialning faqat tarkibiga emas, balki mikrostrukturani shakllantiruvchi omillarga ham alohida e'tibor qaratilmoqda.

G'ovak betonning asosiy tavsiflaridan biri uning o'rtacha zichligidir. Zichlikning kamayishi odatda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining pasayishiga olib keladi, biroq bu holat materialning mexanik mustahkamligiga ham ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli issiqlik izolyatsiyasi va yuk ko'tarish qobiliyati o'rtasidagi optimal nisbatni ta'minlash g'ovak beton texnologiyasining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi.

Materialning issiqlik o'tkazuvchanligi g'ovaklarning hajmi, shakli va o'zaro joylashuviga bevosita bog'liq. Yopiq va bir tekis taqsimlangan g'ovaklar issiqlik oqimini sezilarli darajada cheklaydi. Aksincha, yirik yoki o'zaro tutashgan g'ovaklar havo almashinuvini kuchaytirib, materialning issiqlik himoyasi xususiyatlarini pasaytirishi mumkin. Shuning uchun g'ovaklar geometriyasini boshqarish energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlaridan biri sifatida qaraladi.

Mustahkamlik ko'rsatkichlari ko'p jihatdan sement toshining strukturasi va g'ovaklar devorining yaxlitligi bilan belgilanadi. Bog'lovchi moddaning sifatli gidratatsiyasi, mineral tarkibning bir xilligi va ichki nuqsonlarning kamayishi materialning siqilish hamda egilishdagi qarshiligini oshiradi. Shu bilan birga, g'ovaklar hajmining ortishi mustahkamlikning ma'lum darajada kamayishiga olib kelishi mumkin. Mazkur bog'liqlik ilmiy adabiyotlarda g'ovak betonlarni loyihalashning asosiy mezonlaridan biri sifatida e'tirof etiladi.

Ekspluatatsiya davrida namlik ta'siri ham muhim omillardan hisoblanadi. Suv shimuvchanligining ortishi nafaqat material massasini oshiradi, balki uning issiqlik izolyatsiyalovchi xususiyatlarini ham yomonlashtiradi. Nam muhitda g'ovaklar ichidagi havoning suv bilan almashishi issiqlik o'tkazuvchanligini oshirib yuboradi. Shu sababli g'ovak betonlarda yopiq kapillyar tuzilmani shakllantirish va namlik migratsiyasini cheklash dolzarb ilmiy masalalardan biri bo'lib qolmoqda.

G'ovak betonlarning uzoq muddatli xizmat xususiyatlari tashqi muhit ta'siriga ham bog'liq. Haroratning keskin almashinuvi, muzlash-erish jarayonlari, atmosfera namligi va mexanik yuklamalar materialning strukturaviy barqarorligiga ta'sir etadi. Shu bois zamonaviy qurilish amaliyotida faqat boshlang'ich mustahkamlik emas, balki ekspluatatsiya davomida xossalarning barqaror saqlanishi ham asosiy mezonlardan biri sifatida baholanmoqda.

Keltirilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, g'ovak betonlarning issiqlik-texnik va fizik-mexanik ko'rsatkichlari alohida omillarning emas, balki ularning o'zaro uyg'un ta'siri natijasida shakllanadi. Shu sababli materialning tarkibini tanlash, g'ovaklar strukturasi boshqarish hamda ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish kompleks yondashuv asosida amalga oshirilishi lozim.

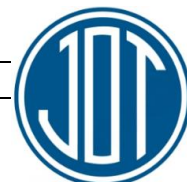
Qurilish materiallari sanoatida amalga oshirilayotgan texnologik yangilanishlar g'ovak beton ishlab chiqarish usullarining ham izchil takomillashuviga olib kelmoqda. Yangi texnologiyalar materialning fizik-mexanik xossalari yaxshilash, ishlab chiqarish jarayonini avtomatlashtirish, energiya sarfini kamaytirish hamda mahsulot sifatining barqarorligini ta'minlashga qaratilgan. Ushbu yo'nalishdagi o'zgarishlar g'ovak betonlarni nafaqat konstruktiv material, balki energiya tejankor qurilishning muhim elementi sifatida rivojlantirish imkonini bermoqda.

G'ovak beton ishlab chiqarishda avtoklavli va avtoklavsiz texnologiyalar eng ko'p qo'llaniladi. Avtoklav usuli yuqori bosim va harorat sharoitida materialning tez qotishini ta'minlab, mustahkamlik ko'rsatkichlarini oshiradi. Biroq bunday texnologiya murakkab uskunalar, katta energiya sarfi va yuqori kapital xarajatlarni talab qiladi. Shu sababli kam qavatli va individual turar joy qurilishida avtoklavsiz texnologiyalarga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda.

Avtoklavsiz ishlab chiqarish usuli texnologik jarayonning soddaligi, ishlab chiqarishni mahalliy sharoitda tashkil etish imkoniyati hamda energiya sarfining nisbatan kamligi bilan ajralib turadi. Mazkur texnologiyada mahsulot sifatini ta'minlash ko'p jihatdan qorishma tarkibi, ko'pikning barqarorligi, aralashtirish tartibi va qotish sharoitiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli texnologik parametrlarni optimallashtirish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning asosiy omillaridan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda raqamli texnologiyalar qurilish materiallari ishlab chiqarish jarayoniga keng joriy etilmoqda. Zamonaviy avtomatlashtirilgan dozatorlar, elektron nazorat tizimlari va kompyuterlashtirilgan boshqaruv uskunalar xomashyo sarfini aniq nazorat qilish, inson omilini kamaytirish hamda tayyor mahsulot sifatining barqarorligini ta'minlash imkonini bermoqda. Bunday yondashuv ishlab chiqarishdagi texnologik xatolarni kamaytirish bilan birga iqtisodiy samaradorlikni ham oshiradi.

Ilmiy tadqiqotlarda g'ovak betonlarning mikrostrukturasi boshqarishga qaratilgan innovatsion usullar ham rivojlanmoqda. Aralashtirish jarayonini



takomillashtirish, ko'pik hosil qiluvchi moddalarning barqarorligini oshirish va qotish sharoitlarini optimallashtirish g'ovaklarning bir tekis shakllanishiga xizmat qiladi. Natijada materialning issiqlik o'tkazuvchanligi pasayadi, mustahkamligi va ekspluatatsion barqarorligi esa ortadi.

Qurilish sohasida "yashil texnologiyalar" tamoyillarining keng qo'llanilishi ishlab chiqarish jarayonining ekologik ko'rsatkichlarini ham muhim mezonga aylantirdi. Xomashyo sarfini kamaytirish, ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlash, energiya tejamkor uskunalardan foydalanish va karbon chiqindilarini qisqartirish zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalarining ajralmas qismiga aylanmoqda. Shu jihatdan g'ovak beton ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish iqtisodiy samaradorlik bilan bir qatorda ekologik barqarorlikni ham ta'minlaydi.

Raqamlashtirish va sun'iy intellekt elementlarini ishlab chiqarishga tatbiq etish istiqbolli yo'nalishlardan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Matematik modellash, eksperimental ma'lumotlarni tahlil qilish hamda tarkibni optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish materialning zarur xossalari oldindan prognoz qilish imkonini beradi. Natijada ko'plab tajribalarni o'tkazishga bo'lgan ehtiyoj kamayadi, ilmiy izlanishlarning samaradorligi esa ortadi.

Qurilish materiallari sanoatining rivojlanish istiqbollari energiya samaradorligi, ekologik xavfsizlik va resurslardan oqilona foydalanish tamoyillari bilan uzviy bog'liq. Mazkur tamoyillar issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarni takomillashtirish bo'yicha olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo'nalishini belgilab bermoqda. Kelgusida materiallarning nafaqat issiqlik-texnik va fizik-mexanik ko'rsatkichlarini yaxshilash, balki ularning butun hayotiy sikli davomida ekologik va iqtisodiy samaradorligini ta'minlash ustuvor vazifalardan biri bo'lib qoladi.

Ilmiy izlanishlarning muhim yo'nalishlaridan biri g'ovak beton tarkibida tabiiy resurslar ulushini kamaytirish hamda ikkilamchi xomashyodan foydalanish hisoblanadi. Sanoat korxonalarida hosil bo'ladigan mineral chiqindilar, qayta ishlangan qurilish materiallari va boshqa texnogen resurslardan foydalanish tabiiy xomashyo zaxiralarini asrash bilan birga, ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish imkonini beradi. Bunday yondashuv aylanma iqtisodiyot tamoyillarini qurilish materiallari sanoatiga joriy etishning muhim omili sifatida qaralmoqda.

Nanotexnologiyalarni qurilish materiallari ishlab chiqarishga tatbiq etish ham istiqbolli ilmiy yo'nalishlardan biridir. Nano'o'lchamli modifikatorlarning qo'llanilishi sement toshining mikrostrukturasi va g'ovaklar tizimini boshqarish imkonini kengaytiradi. Natijada materialning mustahkamligi, sovuqqa chidamliligi, suv shimuvchanligi va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini yaxshilash uchun yangi imkoniyatlar yaratilmoqda.

So'nggi yillarda qurilish materiallarini loyihalash jarayonida raqamli texnologiyalar va matematik modellash usullaridan foydalanish kengaymoqda. Eksperimental ma'lumotlarni tahlil qilish, tarkib parametrlarini optimallashtirish va material xossalari prognozlashda sun'iy intellekt elementlarining qo'llanilishi ilmiy tadqiqotlarning aniqligi hamda samaradorligini oshirishga xizmat qilmoqda. Kelgusida bunday yondashuvlar g'ovak betonlarning optimal tarkibini qisqa muddatda aniqlash imkonini berishi kutilmoqda.

Qurilish sohasida uglerod neytralligi (carbon neutrality) tamoyillarining keng joriy etilishi ham yangi ilmiy

izlanishlarni talab etmoqda. Atmosferaga chiqariladigan karbonat angidrid miqdorini kamaytirish maqsadida kam klinkerli sementlardan foydalanish, energiya tejamkor ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirish hamda ekologik xavfsiz qurilish materiallarini yaratish ustuvor yo'nalishlardan biri sifatida qaralmoqda. Ushbu talablar g'ovak betonlarning tarkibi va ishlab chiqarish texnologiyasini yanada takomillashtirish zaruratini yuzaga keltiradi.

O'zbekiston qurilish sanoati ham energiya tejamkor va ekologik xavfsiz materiallarga bo'lgan ehtiyojning ortishi bilan tavsiflanadi. Mahalliy xomashyo bazasining mavjudligi, sanoat chiqindilaridan foydalanish imkoniyatlari hamda zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalarining bosqichma-bosqich joriy etilishi issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarni yanada rivojlantirish uchun qulay sharoit yaratmoqda. Shu bilan birga, mahalliy iqlim sharoitlariga mos tarkiblarni ishlab chiqish, ularning uzoq muddatli ekspluatatsion xossalari baholash va amaliy qo'llash bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Keltirilgan yo'nalishlar shuni ko'rsatadiki, issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlarni rivojlantirish faqat yangi tarkiblar yaratish bilan cheklanmaydi. Materialning butun hayotiy sikli davomida energiya samaradorligini ta'minlash, ishlab chiqarishning ekologik ta'sirini kamaytirish va raqamli texnologiyalarni keng qo'llash kelgusidagi ilmiy izlanishlarning asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

4. Xulosa

Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, issiqlik izolyatsiyalovchi g'ovak betonlar individual turar joy binolarining energiya samaradorligini ta'minlashda muhim o'rin tutadi. Ularning fizik-mexanik va issiqlik-texnik xossalari material tarkibi, g'ovaklar tuzilishi hamda ishlab chiqarish texnologiyasiga bevosita bog'liq. Zamonaviy ilmiy tadqiqotlar g'ovak betonlarning sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash, resurs tejamkor texnologiyalarni qo'llash va ekologik xavfsiz materiallar yaratishga qaratilgan. Shu bois ushbu yo'nalishdagi ilmiy izlanishlarni rivojlantirish energiya tejamkor qurilish materiallarini yaratishning muhim shartlaridan biri hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi. QMQ 2.01.04-2018. Qurilish issiqlik texnikasi. – Toshkent, 2018.
- [2] Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. – Harlow: Pearson Education Limited, 2011. – 846 p.
- [3] Ramachandran V.S., Beaudoin J.J. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology. – William Andrew Publishing, 2001. – 992 p.
- [4] Jones M.R., McCarthy A. Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material. Magazine of Concrete Research, 2005, Vol. 57, No. 1, pp. 21–31.
- [5] Amran Y.H.M., Farzadnia N., Ali A.A.A. Properties and applications of foamed concrete: A review. Construction and Building Materials, 2015, Vol. 101, pp. 990–1005.



[6] Hilal A.A., Thom N.H., Dawson A.R. On entrained pore size distribution of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 2015, Vol. 75, pp. 227–233.

[7] Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and properties of aerated concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*, 2000, Vol. 22, No. 5, pp. 321–329.

[8] Kearsley E.P., Wainwright P.J. The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete. *Cement and Concrete Research*, 2001, Vol. 31, No. 1, pp. 105–112.

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>



Regression model of service system optimization based on digitalization

F. Usarkulova¹^a, E. Abdurahmanova¹^b, M. Botirov¹

¹ Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan

Abstract: This article develops and scientifically substantiates a regression model for optimizing the service system in agro-industrial complexes based on digitalization. Within the framework of the study, the interrelationships among the main operational indicators of the service system—costs, time, service quality, customer satisfaction, and the level of digitalization—were analyzed using econometric methods. As a result, a comprehensive index representing service system efficiency was formulated, and its relationship with the level of digitalization was determined through a regression model. Empirical analysis demonstrates that an increase in the level of digital transformation significantly improves service efficiency.

Keywords: agro-industrial complex, digitalization, regression model, service delivery system, integrated efficiency index, econometric analysis, management efficiency, optimization, data-driven management, digital transformation

Raqamlashtirish asosida xizmat ko'rsatish tizimini optimallashtirishning regressiya modeli

Usarkulova F.¹^a, Abdurahmanova E.¹, Botirov M.¹

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 modellarni yordamida geometrik naqshlarning matematik strukturalari, simmetriya qonuniyatlari va kompozitsion tuzilishini chuqurroq tahlil qilish mumkin.

Kalit so'zlar: agrosanoat majmuasi, raqamlashtirish, regressiya modeli, xizmat ko'rsatish tizimi, kompleks samaradorlik indeksi, ekonometrik tahlil, boshqaruv samaradorligi, optimallashtirish, data-driven management, raqamli transformatsiya.

1. Kirish

Globallashtirish va raqamli transformatsiya jarayonlari jadallashgan hozirgi davrda innovatsion iqtisodiyot milliy xo'jalik tizimlarining rivojlanishida hal qiluvchi omilga aylanmoqda. Innovatsion iqtisodiyot sharoitida bilim, axborot va texnologiyalar iqtisodiy o'sishning asosiy drayverlari sifatida namoyon bo'ladi. Ushbu jarayon agrosanoat majmualari faoliyatiga ham bevosita ta'sir ko'rsatib, an'anaviy boshqaruv mexanizmlarini zamonaviy raqamli tizimlar bilan almashtirishni talab etmoqda.

Agrosanoat majmualari iqtisodiyotning ko'p tarmoqli va murakkab tizimi sifatida ishlab chiqarish, qayta ishlash, logistika, marketing va xizmat ko'rsatish jarayonlarini o'z ichiga oladi. Mazkur tizimning samaradorligi xizmat

ko'rsatish infratuzilmasining rivojlanganligi va boshqaruvning muvofiqlashtirilgan darajasi bilan belgilanadi. Xizmat ko'rsatish tizimi ishlab chiqarish jarayonining uzluksizligini ta'minlovchi asosiy komponent bo'lib, uning samarasizligi butun qiymat zanjirining natijadorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Hozirgi bosqichda ko'plab agrosanoat subyektlarida xizmat ko'rsatish jarayonlari yetarli darajada raqamlashtirilmagan, ma'lumotlar almashinuvi markazlashtirilmagan va boshqaruv qarorlari ko'pincha empirik yondashuv asosida qabul qilinmoqda. Bu esa operatsion xarajatlarning ortishiga, vaqt yo'qotishlarga va xizmat sifati pasayishiga olib keladi. Shu sababli xizmat ko'rsatish tizimini raqamli tahlil qilish va uni ilmiy asosda takomillashtirish dolzarb ilmiy muammo sifatida namoyon bo'lmoqda.

^a <https://orcid.org/0009-0009-2707-7116>

^b <https://orcid.org/0009-0004-3668-6152>



Raqamli tahlil konsepsiyasi xizmat jarayonlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, ko'rsatkichlar dinamikasini baholash va boshqaruv qarorlarini ma'lumotlarga asoslangan holda qabul qilish imkonini beradi. Bu yondashuv subyektiv baholashni kamaytiradi, tizimdagi "tor bo'g'inlar"ni aniqlaydi va resurslardan optimal foydalanishni ta'minlaydi. Xizmat ko'rsatish tizimini raqamlashtirish orqali operatsion samaradorlikni oshirish, xarajatlarni kamaytirish va mijozlar qoniqligini yaxshilash mumkin.

Mavzuning o'rganilganlik darajasini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, iqtisodiy adabiyotlarda raqamli iqtisodiyot, xizmatlar samaradorligi va boshqaruvni modernizatsiya qilish masalalari keng yoritilgan bo'lsa-da, agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimini kompleks raqamli tahlil qilish muammosi yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Ayniqsa, institutsional omillar, axborot oqimlari va operatsion samaradorlik o'rtasidagi bog'liqlikni chuqur o'rganish zarurati mavjud.

Mazkur tadqiqotning maqsadi innovatsion iqtisodiyot sharoitida agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimini raqamli tahlil qilishning nazariy-metodologik asoslarini ishlab chiqish hamda uni takomillashtirishning strategik yo'nalishlarini aniqlashdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun xizmat ko'rsatish tizimining tarkibiy elementlari tahlil qilinadi, raqamli transformatsiya jarayonlarining iqtisodiy samaradorlikka ta'siri baholanadi hamda boshqaruvni optimallashtirish mexanizmlari ishlab chiqiladi.

Tadqiqot natijalari agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimini modernizatsiya qilish, raqamli infratuzilmani rivojlantirish va boshqaruv samaradorligini oshirishga xizmat qilishi kutilmoqda.

Adabiyotlar sharhi va nazariy asoslar

Innovatsion iqtisodiyot sharoitida xizmat ko'rsatish tizimining rivojlanishi iqtisodiy nazariyaning samaradorlik, institutsional rivojlanish va raqamli transformatsiya konsepsiyalari bilan uzviy bog'liqdir. Zamonaviy iqtisodiy adabiyotlarda innovatsion iqtisodiyot bilim, texnologiya va axborot resurslariga asoslangan rivojlanish modeli sifatida talqin etiladi. Mazkur modelda ma'lumotlar iqtisodiy qiymat yaratishning asosiy omiliga aylanadi va boshqaruv jarayonlari an'anaviy empirik yondashuvdan analitik va prognozga asoslangan tizimga o'tadi.

Xizmat ko'rsatish tizimi iqtisodiy infratuzilmaning tarkibiy qismi sifatida ishlab chiqarish samaradorligiga bilvosita, biroq sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ilmiy manbalarda xizmatlar samaradorligi ko'p mezonli kategoriya sifatida ko'rib chiqilib, u iqtisodiy, tashkiliy va ijtimoiy natijalar bilan baholanadi. Agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish jarayonlari logistika, texnik servis, axborot-konsalting, moliyaviy va marketing xizmatlarini qamrab oladi va mazkur jarayonlarning uyg'unligi butun qiymat zanjirining samaradorligini belgilaydi.

Institutsional iqtisodiyot nazariyasiga ko'ra, xizmat ko'rsatish tizimining barqarorligi normativ-huquqiy baza, davlat va xususiy sektor o'rtasidagi hamkorlik, hamda axborot infratuzilmasining rivojlanganligi bilan chambarchas bog'liq. Raqamli transformatsiya jarayoni ushbu institutsional omillarni yanada takomillashtirishni talab etadi, chunki axborot oqimlarining tezligi va aniqligi boshqaruv qarorlarining sifatini belgilaydi.

Raqamli iqtisodiyot konsepsiyasida data-driven management — ya'ni ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv yondashuvi markaziy o'rin egallaydi. Ushbu yondashuv

xizmat ko'rsatish tizimida real vaqt rejimida monitoring, statistik va analitik tahlil, hamda prognozlash mexanizmlarini qo'llash orqali operatsion samaradorlikni oshirishni nazarda tutadi. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, raqamlashtirish darajasi oshgan sari operatsion xarajatlarni kamayadi, xizmat ko'rsatish vaqti qisqaradi va mijoz qoniqligini ortadi.

Biroq mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimini kompleks raqamli tahlil qilish, ayniqsa uning institutsional va operatsion jihatlarini integratsiyalashgan holda o'rganish yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Ko'plab tadqiqotlar ishlab chiqarish samaradorligiga qaratilgan bo'lsa-da, xizmat ko'rsatish infratuzilmasining raqamli transformatsiyasi alohida ilmiy yo'nalish sifatida chuqur o'rganilmagan.

Shu nuqtai nazardan, xizmat ko'rsatish tizimini innovatsion iqtisodiyot talablari asosida raqamli tahlil qilish va takomillashtirish nazariy va amaliy jihatdan dolzarb vazifa hisoblanadi. Mazkur tadqiqot ana shu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan bo'lib, xizmat ko'rsatish tizimining institutsional va operatsion xususiyatlarini yagona konseptual asosda tahlil qilishni maqsad qiladi.

Ilmiy muammo qo'yilishi va tadqiqot gipotezasi

Innovatsion iqtisodiyot sharoitida iqtisodiy tizimlarning raqobatbardoshligi va barqarorligi tobora ko'proq axborot resurslarining samarali boshqarilishiga bog'liq bo'lib bormoqda. Agrosanoat majmualarida esa ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligi va natijadorligi xizmat ko'rsatish infratuzilmasining holati bilan bevosita belgilanadi. Amaliy tahlillar shuni ko'rsatadiki, ko'plab agrosanoat subyektlarida xizmat ko'rsatish jarayonlari yetarli darajada raqamlashtirilmagan, ma'lumotlar integratsiyasi past darajada, boshqaruv qarorlari esa ko'pincha an'anaviy tajriba va subyektiv baholashga asoslanadi. Natijada operatsion xarajatlarning ortishi, vaqt yo'qotishlar va resurslardan samarasiz foydalanish holatlari yuzaga kelmoqda.

Shu bilan birga, ilmiy adabiyotlarda raqamli iqtisodiyot, xizmatlar samaradorligi va boshqaruvni modernizatsiya qilish masalalari keng o'rganilgan bo'lsa-da, agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimini kompleks raqamli tahlil qilish va uning institutsional hamda operatsion omillar bilan bog'liqligini aniqlash masalasi yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Xususan, raqamli transformatsiya darajasi va xizmat ko'rsatish samaradorligi o'rtasidagi sabab-oqibat bog'liqligini ilmiy asoslash zarurati mavjud.

Mazkur ilmiy muammoni hal etish maqsadida quyidagi asosiy gipoteza ilgari suriladi:

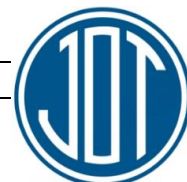
Tadqiqot gipotezasi:

Agar agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimi raqamli monitoring va ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv mexanizmlari orqali tizimli tahlil qilinsa, unda operatsion samaradorlik oshadi, xarajatlarni kamayadi va xizmat sifati barqarorlashadi.

Qo'shimcha gipotezalar:

1. Raqamlashtirish darajasi bilan xizmat ko'rsatish tezligi o'rtasida ijobiy bog'liqlik mavjud.
2. Axborot oqimlarining integratsiyalashuvi operatsion xarajatlarni kamaytiradi.
3. Analitik asoslangan boshqaruv qarorlari xizmat sifatining barqarorligini ta'minlaydi.

Mazkur gipotezalarni tekshirish uchun tizimli va statistik tahlil usullaridan foydalaniladi.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Mazkur tadqiqot tizimli yondashuv tamoyillariga asoslanadi, bunda agrosanoat majmualaridagi xizmat ko'rsatish tizimi o'zaro bog'liq elementlardan tashkil topgan murakkab iqtisodiy tizim sifatida qaraladi. Tizimning asosiy komponentlari sifatida axborot oqimlari, resurslar harakati, xizmat jarayonlari, nazorat mexanizmlari va boshqaruv qarorlari ajratib ko'rsatildi.

Metodologik jihatdan tadqiqot quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

Birinci bosqichda xizmat ko'rsatish tizimining asosiy ko'rsatkichlari shakllantirildi. Ular quyidagilarni o'z ichiga oladi: xizmat ko'rsatish vaqti, operatsion xarajatlar, xizmat sifati darajasi, mijozlar qoniqishi indeksi, logistika samaradorligi va raqamlashtirish darajasi.

Ikkinchi bosqichda ma'lumotlarni yig'ish va tizimlashtirish amalga oshiriladi. Elektron platformalar va axborot tizimlari orqali operatsion ko'rsatkichlar bazasi shakllantiriladi.

Uchinchi bosqichda statistik va analitik tahlil usullaridan foydalaniladi. Jumladan:

- o'rtacha qiymatlar va variatsiya ko'rsatkichlari;
- dinamik o'sish sur'atlari;
- korrelyatsion tahlil;
- strukturaviy taqqoslash usullari.

To'rtinchi bosqichda natijalar asosida xizmat ko'rsatish tizimini takomillashtirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Metodologiyaning asosiy ustunligi shundaki, u subyektiv baholashni minimallashtiradi va qaror qabul qilish jarayonini ma'lumotlarga asoslangan tizimga o'tkazadi. Raqamli tahlil jarayoni xizmat ko'rsatish tizimining dinamik holatini kuzatish, muammoli nuqtalarni aniqlash va optimallashtirish choralari ishlab chiqish imkonini beradi.

Tadqiqot obyekti va ma'lumotlar bazasi

Mazkur tadqiqot obyekti sifatida innovatsion rivojlanish bosqichida faoliyat yuritayotgan agrosanoat majmualarida xizmat ko'rsatish tizimi tanlandi. Tadqiqot predmeti esa xizmat ko'rsatish jarayonlarining operatsion ko'rsatkichlari va ularning raqamlashtirish darajasi bilan o'zaro bog'liqligidir. Xizmat ko'rsatish tizimi ko'p komponentli tuzilishga ega bo'lib, unda logistika, texnik servis, axborot-konsalting, moliyaviy xizmatlar va marketing faoliyati o'zaro integratsiyalashgan holda faoliyat yuritadi.

Ma'lumotlar bazasi xizmat ko'rsatish jarayonlari bo'yicha shakllantirilgan quyidagi asosiy ko'rsatkichlarni o'z ichiga oladi: xizmat ko'rsatish o'rtacha vaqti (T), operatsion xarajatlar (C), xizmat sifati indeksi (Q), mijozlar qoniqishi darajasi (S), raqamlashtirish darajasi (D) hamda axborot integratsiyasi ko'rsatkichi (G). Ushbu ko'rsatkichlar bir necha davr kesimida yig'ilib, dinamik tahlil qilish imkonini beradi.

Tadqiqotda ma'lumotlar tozalash, guruhlash va standartlashtirish bosqichlaridan o'tkazildi. Turli o'lchov birliklariga ega ko'rsatkichlar yuqorida keltirilgan normalizatsiya formulalari asosida [0,1] oralikka keltirildi. Bu esa ko'rsatkichlarni yagona analitik maydonda baholash imkonini berdi.

Hisoblash algoritmi

Xizmat ko'rsatish tizimining kompleks samaradorlik indeksi quyidagi bosqichlar orqali hisoblandi:

1. Har bir indikator uchun minimal va maksimal qiymatlar aniqlanadi.

2. Ko'rsatkichlar normalizatsiya qilinadi: Z_{ij}
3. Indikatorlar og'irliklari w_j aniqlanadi (ekspert bahosi yoki statistik dispersiya asosida).
4. Kompleks indeks hisoblanadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^m w_j Z_{ij}$$

Tushuntirish:

- I_i -obyekt uchun kompleks indeks
- w_j — j-indikatorning og'irligi
- Z_{ij} — normallashtirilgan qiymat
- m — indikatorlar soni

Keyingi bosqichda raqamlashtirish darajasi va samaradorlik o'rtasidagi bog'liqlik korrelyatsiya va regressiya usullari yordamida tekshirildi:

$$I_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i$$

Shuningdek, ko'p omilli model orqali institutsional omillar ta'siri baholandi:

$$I_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 G_i + \beta_3 Q_i \varepsilon_i$$

Mazkur algoritm xizmat ko'rsatish tizimini real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqaruv qarorlarini optimallashtirish uchun asos yaratadi.

3. Xulosa

Hisob-kitob natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamlashtirish darajasi yuqori bo'lgan agrosanoat subyektlarida kompleks samaradorlik indeksi sezilarli darajada yuqori qiymatga ega. Korrelyatsion tahlil natijasida $r\{DI\} > 0.6$ darajasida ijobiy bog'liqlik aniqlanib, bu raqamli transformatsiya xizmat ko'rsatish samaradorligiga bevosita ijobiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi. Regressiya natijalari $\beta_1 > 0$ va statistik jihatdan ahamiyatli ekanligini ko'rsatib, gipotezaning empirik asoslanganligini tasdiqladi. Ko'p omilli modelda axborot integratsiyasi ko'rsatkichi ham mustaqil ijobiy ta'sirga ega ekani aniqlandi ($\beta_2 > 0$). Bu esa raqamli infratuzilma va institutsional muvofiqlashtirish xizmat ko'rsatish tizimining barqaror rivojlanishida muhim omil ekanligini ko'rsatadi. Hisob-kitob natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamlashtirish darajasi yuqori bo'lgan agrosanoat subyektlarida kompleks samaradorlik indeksi sezilarli darajada yuqori qiymatga ega. Korrelyatsion tahlil natijasida $r\{DI\} > 0.6$ darajasida ijobiy bog'liqlik aniqlanib, bu raqamli transformatsiya xizmat ko'rsatish samaradorligiga bevosita ijobiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. 2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risidagi Farmon. – Toshkent, 2022.
- [2] G'ulomov S.S., Sharifxodjayev M.Sh. Axborot texnologiyalari va raqamli iqtisodiyot. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2020. – 312 b.
- [3] Nurmuhamedov B.R. Agrosanoat majmuasi iqtisodiyoti. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2019. – 284 b.
- [4] Yo'ldashev O.Q. Xizmat ko'rsatish sohasida boshqaruv samaradorligini oshirish yo'llari. – Toshkent: Universitet, 2020. – 198 b.
- [5] Mirzayev R.A. Institutsional iqtisodiyot nazariyasi. – Toshkent: Fan, 2018. – 240 b.



[6] Xodjayev A.N. Agrosanoat tizimida innovatsion rivojlanish. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2021. – 176 b.

[7] Qodirov B.T. Raqamli transformatsiya va boshqaruv mexanizmlari. // Iqtisodiyot va innovatsiyalar. – 2022. – №4. – B. 45–52.

[8] Porter M.E. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. – New York: Free Press, 1985.

[9] Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. – New York: W.W. Norton & Company, 2014.

[10] Tapscott D. The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence. – New York: McGraw-Hill, 1996.

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

Usarqulova
Feruza / Feruza
Usarkulova

Qarshi davlat texnika
universiteti magistranti
E-mail:

usarqulovaferuza@gmail.com

[https://orcid.org/0009-0009-](https://orcid.org/0009-0009-2707-7116)

[2707-7116](https://orcid.org/0009-0009-2707-7116)

Tel.: +998701124495

Abdurahmonova
E'zoza / Ezoza
Abdurahmonova

Qarshi davlat texnika
universiteti magistranti

E-mail:

abduraxmonovaezoza47@gmail.com

[https://orcid.org/0009-0004-](https://orcid.org/0009-0004-3668-6152)

[3668-6152](https://orcid.org/0009-0004-3668-6152)

Tel: +998912269861

Botirov Munisbek
/ Munisbek
Botirov

Qarshi davlat texnika
universiteti magistranti



Mathematical modeling and artificial intelligence methods for oil filtration processes in multilayer porous media: An analytical review

E. Abdurahmanova¹^a, F. Usarkulova¹^b, M. Botirov¹

¹Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan

Abstract:

Oil filtration in porous media is a complex multiphase and nonstationary process that plays an important role in petroleum production, reservoir engineering, and environmental protection. Accurate prediction of filtration behavior requires advanced mathematical models capable of describing fluid transport, phase interactions, and heterogeneity of porous structures. Classical approaches based on Darcy's law, transport equations, multiphase flow models, and computational fluid dynamics (CFD) provide reliable physical descriptions; however, their application is limited by computational complexity and dependence on empirical parameters. This review analyzes modern mathematical and computational approaches for modeling oil filtration in multilayer porous media, including continuum-scale models, pore-scale simulations, digital rock physics, and numerical methods such as finite difference, finite element, and CFD approaches. Particular attention is given to artificial intelligence methods, including machine learning, deep learning, and physics-informed neural networks (PINNs), applied for permeability prediction, pressure field estimation, filtration performance analysis, and process optimization. The analysis shows that hybrid physics–AI approaches provide promising opportunities to overcome the limitations of traditional models by combining physical laws with data-driven learning. Such frameworks can improve prediction accuracy, reduce computational costs, and support the development of intelligent models for nonstationary oil filtration processes in heterogeneous multilayer porous media.

Keywords:

oil filtration, porous media, mathematical modeling, Darcy's law, nonstationary flow, multiphase transport, computational fluid dynamics, artificial intelligence, machine learning, physics-informed neural networks

1. Introduction

Oil filtration processes in porous media represent complex transport phenomena that are fundamental for petroleum production, environmental protection, and industrial separation technologies. Efficient separation of oil from water and solid contaminants plays a critical role in produced-water treatment, reservoir management, and improving hydrocarbon recovery efficiency. Fluid transport through porous structures is mainly governed by interactions between pressure gradients, pore geometry, permeability distribution, and multiphase flow mechanisms [1–3]. The mathematical description of oil filtration processes has traditionally been based on continuum transport theories. Darcy's law remains the fundamental equation for describing fluid movement through porous media and has been widely applied in reservoir engineering and filtration analysis [1]. However, real geological formations are characterized by strong heterogeneity, multilayer structures, variable permeability, and nonlinear flow behavior, which significantly complicate accurate prediction of filtration dynamics [2,4].

Classical porous media models describe fluid transport using effective parameters such as permeability, porosity, and relative permeability. The relationship between these parameters is commonly estimated using empirical correlations, including the Kozeny–Carman model [5,6]. Although these approaches provide computational efficiency and physical interpretation, their accuracy

decreases for heterogeneous porous systems where pore connectivity, tortuosity, and structural variability cannot be represented by simplified assumptions [3].

In oil-water filtration systems, additional complexity arises from multiphase interactions, including droplet transport, coalescence, deposition, and pore blockage phenomena. Deep-bed filtration theory and colloid transport models have provided important theoretical foundations for describing particle capture mechanisms and filter performance evolution [7,8]. Nevertheless, these models often require experimentally calibrated parameters and may have limited applicability under changing operational conditions.

Recent developments in computational science have enabled more detailed numerical investigation of oil filtration processes. Computational fluid dynamics (CFD), finite element methods (FEM), pore-network modeling, lattice Boltzmann methods, and digital rock physics approaches have significantly improved understanding of fluid transport mechanisms at different spatial scales [9–11]. Digital rock physics, in particular, allows realistic reconstruction of porous structures using micro-computed tomography images and provides opportunities for direct simulation of transport properties [10].

Despite these advances, high computational costs remain a major limitation when applying detailed numerical simulations to large-scale optimization and real-time prediction problems. The increasing availability of experimental data and computational resources has therefore

^a <https://orcid.org/0009-0004-3668-6152>

^b <https://orcid.org/0009-0009-2707-7116>



accelerated the application of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) methods in porous media modeling.

Machine learning approaches have demonstrated significant potential for predicting permeability, porosity, transport properties, and filtration performance from complex datasets. Deep learning methods, especially convolutional neural networks (CNNs), have enabled automatic extraction of structural features from pore-scale images and improved prediction accuracy compared with conventional empirical correlations [12].

A major breakthrough in scientific machine learning has been the development of physics-informed neural networks (PINNs), which combine artificial intelligence with governing physical equations. PINNs incorporate conservation laws and differential equations directly into neural network training, enabling physically consistent predictions with reduced dependence on large datasets [13]. The method has been successfully applied for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations [13,14].

For porous media and reservoir applications, physics-informed learning provides new opportunities for modeling complex flow and transport processes where experimental data are limited. However, challenges related to nonlinear multiphase transport, model generalization, uncertainty quantification, and computational stability remain important research issues [14,15].

Therefore, this review aims to analyze modern computational modeling and artificial intelligence approaches for nonstationary oil filtration in multilayer porous media. The main objectives are:

- To review mathematical foundations of oil filtration modeling based on porous media transport equations;
- To analyze numerical methods used for continuum and pore-scale simulations;
- To evaluate recent AI and physics-informed machine learning approaches;
- To identify future research directions for developing hybrid AI-physics models for intelligent oil filtration systems.

2. Research methodology

Mathematical Foundations of Oil Filtration Modeling

Fluid flow through porous media is traditionally described by Darcy's law, which establishes the fundamental relationship between pressure gradient, permeability, fluid viscosity, and flow velocity. This law provides the theoretical basis for modeling oil migration and filtration processes in reservoir rocks and engineered filtration systems. In heterogeneous multilayer porous media, the permeability distribution is not constant but varies spatially due to differences in pore structure, geological properties, and fluid-rock interactions. Therefore, advanced models often incorporate spatially variable and pressure-dependent permeability to describe nonstationary filtration behavior more accurately.

Oil filtration processes in porous media commonly involve simultaneous transport of oil and water phases with different physical properties. Therefore, single-phase flow models based only on Darcy's law are insufficient to describe phase interactions, saturation effects, and relative permeability behavior. Multiphase flow models extend the

classical porous media formulation by considering phase-dependent properties, including viscosity, density, pressure distribution, and relative permeability. The relative permeability concept describes the ability of each fluid phase to flow through the porous structure when multiple phases occupy the pore space. It depends mainly on fluid saturation, pore geometry, and capillary effects. These models provide the theoretical foundation for describing oil-water displacement, filtration efficiency, and transient multiphase transport processes in heterogeneous porous systems.

Porosity and permeability are fundamental structural parameters controlling transport phenomena in porous media. Porosity defines the available pore volume, whereas permeability determines the ability of fluids to migrate through the porous structure. Classical models, such as the Kozeny-Carman relationship, establish correlations between permeability and structural characteristics of porous materials. However, these empirical approaches are often limited when applied to heterogeneous multilayer porous media due to variations in pore size distribution, connectivity, and tortuosity.

Recent studies demonstrate that machine learning approaches can overcome some limitations of conventional correlations by identifying nonlinear relationships between pore-scale structural features and effective transport properties. The transport of dispersed oil droplets, suspended particles, and contaminants during filtration is commonly described using convection-diffusion-deposition models. These models consider the combined influence of fluid convection, molecular or Brownian diffusion, and deposition mechanisms responsible for particle retention within porous structures. During filtration, deposited materials gradually modify the internal pore geometry, resulting in permeability reduction and changes in flow resistance. This interaction between transport processes and structural evolution introduces strong nonlinear behavior, making accurate prediction difficult using conventional analytical approaches.

In practical reservoir and filtration systems, pressure distribution, fluid velocity, saturation, and permeability may vary continuously with time. Therefore, oil filtration processes are considered nonstationary and require transient mathematical models. Multilayer porous systems introduce additional complexity due to differences in layer properties, including permeability, porosity, and fluid transport characteristics. These variations lead to nonuniform pressure fields and complex flow patterns that are challenging to capture using simplified homogeneous models. Consequently, advanced computational approaches, including numerical simulation and artificial intelligence-based methods, are increasingly applied to improve prediction accuracy and computational efficiency for nonstationary filtration problems.

Computational Methods for Oil Filtration Modeling

The mathematical description of oil filtration processes in heterogeneous porous media requires efficient numerical methods capable of solving complex transport equations under different spatial and temporal scales. Depending on the level of detail required, computational approaches can be classified into continuum-scale methods, pore-scale simulations, and image-based modeling techniques. These methods provide different levels of accuracy and computational efficiency and are often combined within multiscale modeling frameworks.



Computational Fluid Dynamics (CFD) is one of the most widely used numerical approaches for investigating fluid flow, mass transfer, and multiphase transport phenomena in oil filtration systems. CFD methods are based on the numerical solution of conservation equations, including the Navier–Stokes equations, continuity equations, and transport equations. For filtration systems involving porous structures, the Navier–Stokes equations are often coupled with Darcy or Brinkman formulations. The Brinkman equation extends Darcy’s law by considering viscous diffusion effects and can be expressed as:

$$-\nabla P + \mu \nabla^2 u - \frac{\mu}{k} u = 0 \quad (1)$$

where:

P is pressure;

u is fluid velocity;

k is permeability;

μ is dynamic viscosity.

CFD modeling allows researchers to investigate:

- velocity distribution inside filtration devices;
- pressure drop across porous layers;
- oil droplet migration;
- concentration polarization;
- membrane fouling mechanisms.

Multiphase CFD approaches, such as the Euler–Euler model and Volume of Fluid (VOF) method, are frequently applied for oil–water separation processes. The VOF method is particularly useful for tracking oil–water interfaces and analyzing droplet deformation and coalescence phenomena. However, CFD simulations of oil filtration systems have several limitations. High-resolution simulations require significant computational resources, especially when pore-scale structures and transient multiphase interactions are considered. In addition, accurate CFD prediction depends on appropriate closure relationships for droplet behavior, turbulence effects, and deposition mechanisms.

Numerical discretization methods play a fundamental role in solving mathematical models of oil filtration processes. Among them, the finite difference method (FDM) and finite element method (FEM) are widely applied in reservoir simulation and porous media transport problems.

The finite difference method approximates differential equations by replacing derivatives with algebraic expressions. For example, the pressure gradient can be discretized as:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \approx \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta x} \quad (2)$$

FDM is computationally efficient and suitable for regular computational domains. It has been widely used for solving transient filtration equations and pressure distribution problems. The finite element method provides greater flexibility for complex geometries and heterogeneous porous structures. In FEM, the computational domain is divided into small elements, and the governing equations are solved using approximation functions. Advantages of FEM include:

- ability to model irregular geometries;
- accurate representation of heterogeneous media;
- compatibility with coupled physical processes.

For multilayer porous media, FEM is particularly effective because different layers can be assigned individual properties such as permeability, porosity, and fluid characteristics. Despite these advantages, both FDM and FEM require accurate input parameters and may become computationally expensive for large-scale three-dimensional transient simulations.

Pore Network Modeling (PNM) is a pore-scale computational approach that represents porous materials as interconnected networks of pores and throats. Unlike continuum models, PNM explicitly considers the internal geometry of porous structures and provides detailed information about microscale transport mechanisms. In a pore network model, pores are represented as nodes, connections between pores are represented as throats, and fluid movement is calculated based on local pressure differences and capillary forces.

The flow rate between two connected pores can be estimated using the Hagen–Poiseuille relationship:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P \quad (3)$$

where:

r is pore radius;

L is throat length;

ΔP is pressure difference.

PNM has been successfully applied for studying oil droplet capture, pore blockage, permeability changes, and multiphase displacement. The main advantage of pore network modeling is the ability to capture microscopic filtration mechanisms with lower computational cost compared with fully resolved CFD simulations. However, the accuracy of PNM strongly depends on the quality of the generated pore network. Simplified pore structures may not fully represent real geological formations with complex connectivity and heterogeneity.

Lattice Boltzmann Method (LBM)

The Lattice Boltzmann Method is an advanced numerical approach that describes fluid motion at the mesoscopic scale. Unlike conventional CFD methods, which directly solve macroscopic conservation equations, LBM simulates particle distribution functions on a discrete lattice. The evolution of particle distribution is described by:

$$f_i(x + c_i \Delta t, t + \Delta t) = f_i(x, t) - \frac{1}{\tau} (f_i - f_i^{eq}) \quad (4)$$

where:

f_i represents distribution functions;

c_i is lattice velocity;

τ is relaxation time.

LBM has several advantages for porous media modeling, including natural treatment of complex boundaries, efficient simulation of multiphase flow, and direct application to digital pore geometries. It has been widely used for permeability prediction, droplet transport, fluid–fluid interface simulation, and pore-scale filtration analysis. Nevertheless, LBM simulations remain computationally demanding when applied to large three-dimensional porous structures.

Digital Rock Physics (DRP) represents a modern approach that combines high-resolution imaging techniques with numerical simulation. In this approach, real porous structures are reconstructed from imaging data, such as X-ray micro-computed tomography (micro-CT). The general workflow includes: image acquisition; image processing and segmentation; three-dimensional pore reconstruction; numerical flow simulation; and extraction of transport parameters.

Digital rock models enable direct estimation of permeability, porosity, tortuosity, pore connectivity, and multiphase transport characteristics. The major advantage of DRP is that it eliminates the need for idealized pore assumptions and provides realistic representations of heterogeneous porous media. However, several challenges remain, including high computational requirements,



dependence on imaging resolution, and difficulties in processing large datasets. Recently, artificial intelligence methods, particularly convolutional neural networks (CNNs), have been integrated into digital rock workflows to accelerate image segmentation, reconstruction, and property prediction.

Summary of Computational Approaches

Different computational methods provide complementary capabilities for oil filtration modeling, as summarized in Table 1.

Table 1
Summary of computational approaches for oil filtration modeling

Method	Modeling scale	Main advantages	Main limitations
Darcy-based models	Field scale	Fast and simple	Requires empirical parameters
CFD	Device to field scale	Detailed flow analysis	High computational cost
FEM/FDM	Continuum scale	Flexible numerical solution	Parameter dependent
Pore network models	Pore scale	Captures microscopic mechanisms	Simplified geometry
LBM	Pore scale	Complex multiphase simulation	Computationally intensive
Digital Rock Physics	Micro-to-core scale	Realistic structures	Requires imaging data

The development of these computational approaches has created a strong foundation for integrating artificial intelligence methods into oil filtration modeling. In particular, AI-based surrogate models and physics-informed neural networks provide new opportunities to overcome computational limitations and improve prediction accuracy for complex nonstationary filtration processes.

Artificial Intelligence Approaches for Oil Filtration Modeling

In recent years, artificial intelligence (AI) has become an important research direction for improving the prediction, optimization, and control of complex transport processes in porous media. Traditional mathematical models provide strong physical interpretations; however, their application to heterogeneous and nonstationary filtration systems is often limited by computational complexity and the requirement for accurately measured parameters. AI-based approaches offer alternative solutions by learning complex nonlinear relationships between input variables and filtration behavior. Artificial intelligence methods applied to oil filtration modeling can generally be classified into machine learning models, deep learning approaches, physics-informed neural networks, and hybrid physics–AI frameworks.

Machine learning (ML) techniques have been widely applied for predicting important porous media properties and filtration performance indicators. Unlike conventional numerical models, machine learning algorithms identify relationships directly from available experimental or simulation data. The general form of a machine learning prediction model can be expressed as:

$Y=f(X;\theta)$ (5)

where:

- X represents input parameters;
- Y represents predicted output;
- f is the learned nonlinear function;
- θ represents model parameters.

For oil filtration systems, typical input variables include porosity, permeability, pressure gradient, temperature, viscosity, saturation, and pore structure parameters. The predicted outputs may include filtration efficiency, pressure distribution, permeability variation, and oil-water separation performance.

Artificial Neural Networks (ANN)

ANN models are inspired by biological neural systems and consist of interconnected layers of neurons. They are capable of approximating highly nonlinear relationships between filtration parameters. ANNs have been successfully applied for permeability estimation, prediction of oil recovery parameters, and filtration efficiency forecasting. Their main advantage is the ability to model complex nonlinear dependencies without requiring explicit mathematical relationships. However, ANN models require sufficient training data and may produce physically unrealistic results when applied outside the training range.

Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine algorithms are supervised learning methods that perform classification and regression by constructing optimal decision boundaries. For regression problems, Support Vector Regression (SVR) has been applied to permeability prediction, membrane performance estimation, and separation efficiency modeling. SVM models perform well with limited datasets but may become computationally expensive when the number of training samples increases.

Ensemble Learning Methods

Tree-based algorithms such as Random Forest, Gradient Boosting, and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) have also been applied for porous media property prediction. These methods provide high prediction accuracy, resistance to noise, and estimation of variable importance. They are particularly useful when filtration datasets contain multiple interacting parameters.

Deep learning methods have significantly expanded the capabilities of AI-based filtration modeling by enabling automatic extraction of complex patterns from large datasets. Among deep learning methods, convolutional neural networks (CNNs) are especially important for digital rock physics applications. CNNs can process spatial information from micro-CT images, pore-scale simulations, and microscopic filter structures

$Image \rightarrow Feature \rightarrow Prediction$

CNN-based models have been applied for pore structure recognition, permeability prediction, porosity estimation, and segmentation of rock and filter images. Compared with traditional image-processing techniques, CNNs reduce the need for manual feature extraction and can identify hidden structural characteristics influencing fluid transport.

However, deep learning models require large datasets and their physical interpretability remains limited.

Physics-Informed Neural Networks represent one of the most promising AI approaches for modeling complex filtration processes. Unlike conventional machine learning models, PINNs incorporate governing physical equations directly into the neural network training process. The main concept of PINN is to minimize a combined loss function:

$$L_{\text{loss}} = L_{\text{data}} + L_{\text{physics}} \quad (6)$$

where:

- L_{data} represents the difference between predicted and observed data;
- L_{physics} represents the violation of governing physical equations.

For oil filtration problems, the physical component may include:

Darcy's law:

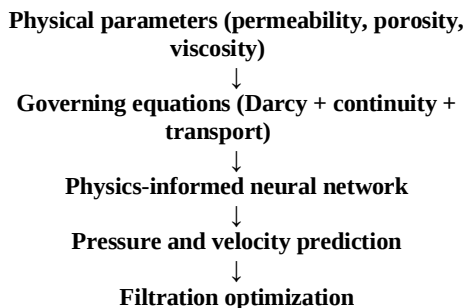
$$u = -\frac{k}{\mu} \nabla p \quad (7)$$

Mass conservation equation:

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (8)$$

By embedding these equations into the learning process, PINNs can generate solutions that satisfy fundamental physical principles.

Nonstationary filtration in multilayer porous media involves time-dependent pressure distribution, variable permeability, and complex boundary conditions. These characteristics make conventional numerical simulations computationally expensive. PINNs provide several advantages, including reduced requirement for simulation data, the ability to solve inverse problems, estimation of unknown parameters, and faster prediction after training. A possible PINN-based framework for multilayer oil filtration can be represented as:



Such models can be used for prediction of pressure fields, estimation of permeability distribution, identification of unknown reservoir parameters, and optimization of filtration processes.

Hybrid Physics–Artificial Intelligence Models

Although AI models demonstrate high prediction capability, purely data-driven approaches may violate physical constraints. Therefore, hybrid physics–AI models are considered a promising direction for future oil filtration research. A hybrid framework combines physical equations, numerical simulation, and machine learning algorithms, following the general structure:

Physical Model + AI Model → Improved Prediction

Examples include CFD-generated datasets used for neural network training, PINNs accelerating numerical simulation, AI-based correction of empirical parameters, and surrogate models replacing expensive simulations. For

multilayer porous media, hybrid models can combine Darcy-based flow equations, heterogeneous permeability models, neural networks, and experimental observations. This approach provides a balance between physical reliability and computational efficiency.

Challenges of AI Application in Oil Filtration Modeling

Despite significant progress, several challenges remain:

Data limitations

Oil filtration datasets are often limited because experimental measurements under reservoir conditions are expensive.

Model generalization

AI models trained under specific conditions may not perform well when applied to different rock types, fluid compositions, or operating conditions.

Interpretability

Deep learning models often operate as black boxes, making physical interpretation difficult.

Integration with numerical models

Developing stable hybrid AI–physics frameworks remain an active research area.

Future Perspective of AI-Based Oil Filtration Modeling

The future development of oil filtration modeling is expected to move toward intelligent hybrid frameworks combining mathematical models, high-performance computing, artificial intelligence, and real-time monitoring systems. The integration of PINNs, digital twins, and advanced numerical simulations may enable accurate prediction and control of nonstationary filtration processes in heterogeneous multilayer porous media.

3. Results and Discussion

The development of oil filtration modeling has progressed from simplified analytical approaches toward advanced computational and artificial intelligence-based frameworks. Each modeling approach provides specific advantages depending on the required accuracy, computational resources, and available data. The development of oil filtration modeling has progressed from simplified analytical approaches toward advanced computational and artificial intelligence-based frameworks. Each modeling approach provides specific advantages depending on the required accuracy, computational resources, and available data. Classical mathematical models remain essential because they provide a clear physical interpretation of transport mechanisms, while artificial intelligence methods offer improved prediction capabilities for complex nonlinear systems. A detailed comparison of the conventional computational methods discussed in Section 3 is provided in Table 1 above.

Artificial intelligence methods have introduced new possibilities for predicting filtration behavior by learning complex relationships between input parameters and system responses. Different AI techniques demonstrate different capabilities depending on the available data type and modeling objective, as summarized in Table 2.



Table 2
Comparison of AI methods applied to oil filtration modeling

AI Method	Input data	Predicted parameters	Advantages	Limitations
Artificial Neural Network (ANN)	Experimental and simulation data	Permeability, pressure, filtration efficiency	Effective for nonlinear relationships	Requires sufficient training data
Support Vector Regression (SVR)	Process parameters	Separation efficiency, transport properties	Performs well with small datasets	Limited scalability
Random Forest	Multivariable datasets	Reservoir and filtration parameters	Robust and interpretable	Lower performance for complex spatial problems
Convolutional Neural Network (CNN)	Pore images and CT data	Porosity, permeability, pore structure	Automatic feature extraction	Requires large image datasets
Physics-Informed Neural Network (PINN)	Physical equations + data	Pressure and velocity fields	Maintains physical consistency	Training complexity

Traditional mathematical models and AI approaches should not be considered competing methods; rather, they provide complementary capabilities. Classical models such as Darcy-based formulations have several important advantages, including strong physical interpretation, conservation law satisfaction, and applicability with limited data. However, they face difficulties in representing heterogeneous structures, predicting nonlinear behavior, and performing rapid optimization.

AI methods provide fast prediction after training, the ability to capture nonlinear relationships, and efficient processing of large datasets. Nevertheless, purely data-driven models may suffer from a lack of physical constraints, poor extrapolation capability, and dependence on training data quality. Therefore, hybrid approaches combining

physical models and artificial intelligence represent the most promising direction for future oil filtration modeling.

For multilayer porous systems, the main challenge is the simultaneous consideration of spatially varying permeability, pressure-dependent properties, multiphase transport, and transient boundary conditions. Conventional numerical methods can accurately solve such problems but often require significant computational resources.

PINNs provide an alternative approach by incorporating governing equations directly into the neural network training process. For multilayer filtration systems, the model can be formulated as:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \nabla \cdot \left(k \frac{\nabla (x,y,z,P)}{\mu} \right) \nabla P \tag{9}$$

where the unknown pressure field $P(x,y,z,t)$ is approximated by a neural network:

$$P = N(x, y, z, t; \theta) \tag{10}$$

The network parameters θ are optimized by minimizing the physics-based and data-based losses. This approach enables reconstruction of pressure fields, estimation of unknown permeability distributions, reduction of simulation time, and integration of experimental measurements. For nonstationary oil filtration problems, PINNs can serve as surrogate models replacing repeated computational simulations while preserving physical consistency.

Research Gaps and Future Challenges

Despite significant progress, several research challenges remain unresolved.

1. Limited experimental data

AI models require representative datasets. However, oil filtration experiments under realistic reservoir conditions are expensive and time-consuming. Future research should focus on standardized datasets, integration of experimental and numerical data, and transfer learning approaches.

2. Multiscale modeling challenges

Oil filtration occurs across different spatial scales — pore scale, core scale, and reservoir scale. Connecting these scales remains difficult because information loss may occur during model transitions. Future directions include AI-assisted multiscale models, digital twin technologies, and hierarchical neural architectures.

3. Model interpretability

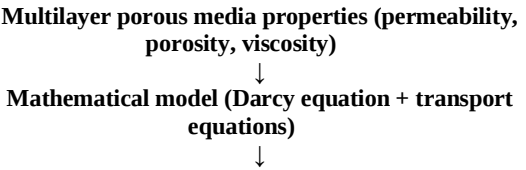
Although deep learning models demonstrate high accuracy, their internal decision-making processes remain difficult to interpret. The development of explainable AI (XAI), physics-guided neural networks, and interpretable machine learning is necessary for industrial implementation.

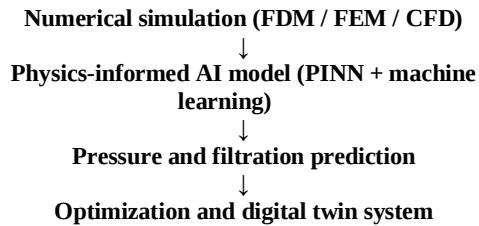
4. Real-time prediction and optimization

Future intelligent filtration systems should provide real-time monitoring, automatic parameter adjustment, and predictive maintenance. The integration of AI models with sensor technologies and high-performance computing may enable the development of intelligent filtration control systems.

Proposed Framework for AI-Based Nonstationary Oil Filtration Modeling

Based on the reviewed approaches, a hybrid computational framework for multilayer porous media can be proposed:





This framework combines the reliability of physical modeling with the computational efficiency of artificial intelligence. It provides a promising basis for developing advanced predictive models for nonstationary oil filtration processes.

4. Conclusion

Oil filtration processes in porous media represent complex physical systems characterized by multiphase transport, heterogeneous structures, and time-dependent changes in flow properties. Accurate modeling of these processes is essential for improving oil-water separation efficiency, optimizing reservoir management, and developing advanced filtration technologies. This review analyzed the main mathematical, computational, and artificial intelligence approaches applied to oil filtration modeling in multilayer porous media. Classical mathematical models based on Darcy's law, conservation equations, and transport models remain fundamental tools for describing fluid movement and filtration mechanisms. These approaches provide strong physical interpretation and reliability; however, their application to highly heterogeneous and nonlinear systems is often limited by computational complexity and the requirement for experimentally determined parameters. Advanced computational methods, including computational fluid dynamics, finite difference and finite element methods, pore network modeling, lattice Boltzmann simulations, and digital rock physics, have significantly improved the ability to investigate filtration phenomena across different spatial scales. These methods provide detailed information about pore-scale transport, multiphase interactions, and structural evolution during filtration processes. Nevertheless, their high computational cost remains a major challenge, especially for large-scale transient simulations and optimization problems.

Artificial intelligence methods have recently demonstrated significant potential for improving prediction and analysis of porous media filtration processes. Machine learning and deep learning algorithms can effectively identify nonlinear relationships between system parameters and filtration performance indicators. In particular, convolutional neural networks have enhanced digital rock analysis, while artificial neural networks have been successfully applied for permeability and transport property prediction. Among AI-based approaches, physics-informed neural networks represent one of the most promising directions because they combine the advantages of data-driven models with the physical consistency of mathematical equations. By incorporating governing equations such as Darcy's law and mass conservation principles into the learning process, PINNs provide opportunities for developing accurate and computationally efficient models for nonstationary filtration processes in heterogeneous multilayer porous media.

However, several challenges remain before AI-based filtration models can be widely implemented in practical engineering applications. These challenges include limited availability of high-quality experimental datasets, difficulties in model generalization across different geological conditions, uncertainty quantification, and limited interpretability of deep learning models. Addressing these issues requires further development of hybrid physics–AI approaches, explainable artificial intelligence methods, and multiscale computational frameworks.

Future research should focus on integrating mathematical models, numerical simulation techniques, artificial intelligence algorithms, and real-time monitoring technologies into unified intelligent filtration systems. Such hybrid frameworks have the potential to provide accurate prediction, optimization, and control of nonstationary oil filtration processes in complex multilayer porous media.

References

- [1] Darcy, H. (1856). *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*. Victor Dalmont, Paris.
- [2] Bear, J. (1972). *Dynamics of Fluids in Porous Media*. American Elsevier Publishing Company, New York.
- [3] Whitaker, S. (1999). *The Method of Volume Averaging: Theory and Applications of Transport in Porous Media*. Kluwer Academic Publishers.
- [4] Scheidegger, A. E. (1974). *The Physics of Flow Through Porous Media*. University of Toronto Press.
- [5] Dullien, F. A. L. (1992). *Porous Media: Fluid Transport and Pore Structure*. Academic Press.
- [6] Kozeny, J. (1927). Über kapillare Leitung des Wassers im Boden. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien*, 136, 271–306.
- [7] Carman, P. C. (1937). Fluid flow through granular beds. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 15, 150–166.
- [8] Payatakes, A. C., Tien, C., & Turian, R. M. (1974). Trajectory calculation of particle deposition in deep bed filtration: Part I. Model formulation. *AIChE Journal*, 20(5), 889–900.
- [9] Rajagopalan, R., & Tien, C. (1976). Trajectory analysis of deep-bed filtration with the sphere-in-cell porous media model. *AIChE Journal*, 22(3), 523–533.
- [10] Tufenkji, N., & Elimelech, M. (2005). Breakdown of colloid filtration theory: Role of the secondary energy minimum and surface charge heterogeneities. *Langmuir*, 21(3), 841–852.
- [11] Bear, J., & Cheng, A. H. D. (2010). *Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport*. Springer.
- [12] Chen, Z. (2007). *Reservoir Simulation: Mathematical Techniques in Oil Recovery*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [13] Aziz, K., & Settari, A. (1979). *Petroleum Reservoir Simulation*. Applied Science Publishers.
- [14] Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., & King, G. R. (2001). *Basic Applied Reservoir Simulation*. Society of Petroleum Engineers.
- [15] Chen, C., & Hsu, C. (2018). Computational modeling of multiphase flow in porous media: A review. *Advances in Water Resources*, 112, 1–18.
- [16] Succi, S. (2001). *The Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics and Beyond*. Oxford University Press.



[17] Chen, S., & Doolen, G. D. (1998). Lattice Boltzmann method for fluid flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 30, 329–364.

[18] Blunt, M. J., Bijeljic, B., Dong, H., Gharbi, O., Iglauer, S., Mostaghimi, P., Paluszny, A., & Pentland, C. (2013). Pore-scale imaging and modelling. *Advances in Water Resources*, 51, 197–216.

[19] Armstrong, R. T., Georgiadis, A., Ott, H., Klemen, D., & Berg, S. (2016). Critical capillary number: Desaturation studied with fast X-ray imaging. *Geophysical Research Letters*, 43, 1210–1217.

[20] Da Wang, Y., Blunt, M. J., Armstrong, R. T., & Mostaghimi, P. (2021). Deep learning in pore-scale imaging and modeling. *Earth-Science Reviews*, 215, 103555.

[21] Mostaghimi, P., Blunt, M. J., & Bijeljic, B. (2016). Computations of absolute permeability on micro-CT images. *Mathematical Geosciences*, 48, 1–15.

[22] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

[23] Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.

[24] Graczyk, K. M., & Matyka, M. (2020). Predicting porosity, permeability, and tortuosity of porous media from images by deep learning. *Scientific Reports*, 10, 21488.

[25] Hanga, K. M., & Kovalchuk, Y. (2019). Machine learning and multi-agent systems in oil and gas industry applications: A survey. *Computer Science Review*, 34, 100191.

[26] Liu, H., Wu, F., Gao, R., Wang, L., & Cui, Q. (2025). Predictive modeling of permeability in porous media based on structural parameters and machine learning. *Physics of Fluids*, 37(7), 072024.

[27] Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear PDEs. *Journal of Computational Physics*, 378, 686–707.

[28] Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., & Yang, L. (2021). Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics*, 3, 422–440.

[29] Fuks, O., & Tchepeli, H. A. (2020). Limitations of physics informed machine learning for nonlinear two-phase transport in porous media. *Journal of Machine Learning for Modeling and Computing*, 1(1).

[30] Fraces, C. G., & Tchepeli, H. (2021). Physics informed deep learning for flow and transport in porous media. *SPE Reservoir Simulation Conference*.

[31] Latrach, A., Malki, M. L., Morales, M., Mehana, M., & Rabiei, M. (2024). A critical review of physics-informed machine learning applications in subsurface energy systems. *Geoenergy Science and Engineering*.

[32] Osman, A. I., Nasr, M., Farghali, M., et al. (2024). Machine learning for membrane design in energy production, gas separation, and water treatment: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 505–560.

[33] Usman, J., Salami, B. A., Gbadamosi, A., et al. (2023). Intelligent optimization for modelling superhydrophobic ceramic membrane oil flux and oil-water separation efficiency. *Chemosphere*, 331, 138726.

[34] Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452, 301–310.

[35] El-Amin, M. F., Alwated, B., & Hoteit, H. (2023). Machine learning prediction of nanoparticle transport with two-phase flow in porous media. *Energies*, 16(2), 678.

[36] Al-Anssari, S., Barifcani, A., Wang, S., Maxim, L., & Iglauer, S. (2017). Wettability alteration of oil-wet carbonate by silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 504, 123–132.

[37] Hendraningrat, L., Li, S., & Torsæter, O. (2013). A coreflood investigation of nanofluid enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 111, 128–138.

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

Feruza Usarkulova	Karshi State Technical University, Master's student E-mail: usarkulovaferuza@gmail.com https://orcid.org/0009-0009-2707-7116 Tel.: +998701124495
Ezoza Abdurakhmanova	Karshi State Technical University, Master's student E-mail: abduraxmonovaezoza47@gmail.com https://orcid.org/0009-0004-3668-6152 Tel: +998912269861
Munisbek Botirov	Karshi State Technical University, Master's student



Analysis of oil products consumption and exchange processes by trucks moving under the conditions of the Kamchik pass

Sh.K. Khakimov¹^a, D.V. Odilov¹^b, U.I. Isokhanov¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The load imposed on the lubrication system of heavy-duty trucks increases substantially under mountainous operating conditions, raising operational costs, yet this factor remains insufficiently studied. This paper presents a mathematical analysis of motor oil, transmission oil, and coolant consumption of MAN TGS, Shacman X3000, and KAMAZ-65201 heavy-duty trucks with a 40-ton payload, operating on the most challenging section of the A-373 highway — Kamchik Pass (highest point 2267 m), connecting Tashkent and the Fergana Valley. Factors affecting lubricant replacement intervals — road gradient, atmospheric pressure, engine load, and thermal regime — are evaluated comprehensively, and a practical calculation method based on a correction coefficient is proposed. Comparative specific consumption rates in flat and mountainous conditions are presented graphically and through regression analysis. Applying the TOPSIS multi-criteria decision method, the most fuel-efficient and fastest truck for hauling a 40-ton load over Kamchik Pass is identified. The findings have practical value for logistics companies operating in mountainous regions when forming fleet composition and optimizing maintenance schedules.

Keywords:

Kamchik Pass, A-373 highway, MAN TGS, Shacman X3000, KAMAZ-65201, motor oil, transmission oil, antifreeze, service interval coefficient, operational consumption, TOPSIS, TCO, optimization

Qamchiq dovoni sharoitida harakatlanuvchi yuk avtomobillarining yog'-moy mahsulotlari sarfi va almashtirish jarayonlarining tahlili

Xakimov Sh.K.¹^a, Odilov D.V.¹^b, Isoxanov U.I.¹^c

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Tog'li yo'l sharoitida yuk avtomobillarining moylash tizimiga tushadigan yuklama sezilarli darajada ortishi ularning ekspluatatsion xarajatlarini oshiruvchi, biroq hozirgacha yetarlicha o'rganilmagan omillardan biri hisoblanadi. Ushbu maqolada Toshkent–Farg'ona vodiysini bog'lovchi A-373 magistral yo'lining eng murakkab uchastkasi — Qamchiq dovoni (eng baland nuqtasi 2267 m) sharoitida harakatlanuvchi 40 tonna yuk ko'taruvchi MAN TGS, Shacman X3000 va KAMAZ-65201 rusumli yuk avtomobillarining motor, transmissiya moylari va sovutuvchi suyuqliklari iste'molining matematik tahlili keltirilgan. Tadqiqotda yog'-moy mahsulotlarining almashtirish intervallariga ta'sir etuvchi omillar — yo'l qiyaligi, atmosfera bosimi, dvigatel yuklamasi va harorat rejimi — kompleks tarzda baholanib, tuzatish koeffitsienti asosida amaliy hisoblash usuli taklif etilgan. Tekis va tog'li yo'l sharoitlaridagi solishtirma sarflar grafik va regressiya tahlili yordamida taqdim etilgan, TOPSIS ko'p mezonli baholash metodi qo'llanilgan holda 40 t yukni Qamchiq dovoni orqali tashishda eng iqtisodli va tezkor avtomobil asoslangan tarzda aniqlangan. Olingan natijalar tog'li mintaqalarda faoliyat yurituvchi logistika kompaniyalari uchun avtopark tarkibini shakllantirish va texnik xizmat ko'rsatish rejalarini optimallashtirishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar:

Qamchiq dovoni, A-373 magistrali, MAN TGS, Shacman X3000, KAMAZ-65201, motor moyi, transmissiya moyi, antifriz, ta'mirlash interval koeffitsienti, ekspluatatsion sarf, TOPSIS, TCO, optimallashtirish

1. Kirish

O'zbekiston Respublikasining iqtisodiy infratuzilmasida A-373 ("Toshkent–Andijon") magistral yo'li strategik ahamiyatga ega bo'lib, mamlakat poytaxti va eng yirik agrosanoat mintaqasi — Farg'ona vodiysini bog'lovchi

yagona quruqlik yo'nalishi hisoblanadi [1]. Ushbu yo'lning eng murakkab qismi Qamchiq dovoni bo'lib, uning quyidagi geomorfologik va iqlim ko'rsatkichlari yuk avtomobillarining ekspluatatsion rejimiga keskin ta'sir ko'rsatadi:

- eng baland nuqtasi: 2267 m (dengiz sathidan);

^a <https://orcid.org/0009-0001-6098-5775>

^b <https://orcid.org/0009-0005-7662-325X>

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



• tog'li uchastka uzunligi: ≈ 65 km (Angren – Pop yo'nalishida);

- burilishlar soni: 100 dan ortiq (radiusi 30–80 m);
- yillik harorat farqi: -25°C dan $+45^{\circ}\text{C}$ gacha;
- atmosfera bosimi: dengiz sathidagi qiymatdan 22–24 % kam (≈ 78 kPa).

Ushbu sharoitlarda yuk tashuvchi avtomobillarning dvigateli, transmissiyasi va sovutish tizimi nominal rejimdan kattaroq yuklama ostida ishlaydi. Natijada moylash tizimidagi suyuqliklarning haroratlari ortadi, ularning oksidlanish va degradatsiya tezligi tezlashadi, almashtirish intervallari qisqaradi [2, 3]. Hozirgi kunda O'zbekistondagi yirik logistika kompaniyalari ushbu yo'nalishda asosan MAN TGS (Germaniya), Shacman X3000 (Xitoy) va KAMAZ-65201/65225 (Rossiya) rusumli avtomobillardan foydalanmoqda. Bu uchta brendning konstruktiv farqlari, ishlatilayotgan moylash tizimi va xarid narxlar turlicha bo'lganligi sababli ularning umumlashgan ekspluatatsion samaradorligi masalasi alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Mavzuning dolzarbligi shundan iboratki, mavjud ilmiy-texnik adabiyotda yuk avtomobillarining yog'-moy sarfi asosan tekis magistral sharoitlar uchun o'rganilgan [2, 3, 7], tog'li dovonlarga xos ekstremal iqlim-relyef omillarining moylash mahsulotlari resursiga kompleks ta'siri, xususan turli brendlarga oid qiyosiy tahlil, hozirgacha yetarlicha yoritilmagan. Ushbu bo'shliqni to'ldirish maqsadida mazkur tadqiqotda Qamchiq dovoni misolida uchta xalqaro brendga tegishli yuk avtomobillarining ekspluatatsion ko'rsatkichlari birinchi marta yagona matematik va ko'p mezonli baholash metodologiyasi (regressiya tahlili + TOPSIS + TCO) asosida qiyoslanadi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi tog'li dovon sharoiti uchun umumlashgan tuzatish koeffitsienti (K_{umumiy}) va uch bosqichli baholash modelining birinchi marta birgalikda qo'llanilishidan iborat.

2. Tadqiqot metodologiyasi

1-jadvalda Qamchiq dovonining asosiy parametrlari keltirilgan.

1-jadval

Qamchiq dovoni yo'l uchastkasining texnik tavsifi

Ko'rsatkich	O'lchov birligi	Qiymati
Eng baland nuqtasi	m	2267
Uzunligi (qiyalik bilan)	km	65
O'rtacha qiyalik	%	5,4
Maksimal qiyalik	%	9,0
Burilishlar soni	dona	≈ 105
Atmosfera bosimi (yozda)	kPa	76–78
Havoning kislorod ulushi (sof)	%	16,5
Yillik o'rtacha harorat	$^{\circ}\text{C}$	+6,8
Qish minimum	$^{\circ}\text{C}$	-25
Yoz maksimum	$^{\circ}\text{C}$	+45

Tadqiqot uchun har bir brendning eng ko'p tarqalgan 40 t yuk ko'taruvchi konfiguratsiyasi tanlandi (2-jadval).

2-jadval

Yuk avtomobillarining solishtirma texnik xarakteristikalar

Parametr	MAN TGS 33.480 (6×4)	Shacman X3000 (6×4)	KAMAZ-65201 (8×4)
Dvigatel modeli	MAN D2676 LF	Weichai WP12.430E 50	KAMAZ -740.73-400
Konfiguratsiya si	I6, turbo, intercooler	I6, turbo, intercooler	V8, turbo, intercooler
Ish hajmi, l	12,42	11,60	11,76
Quvvati, k.k. (kW)	480 (353)	430 (316)	400 (294)
Maks. moment, N·m	2300	1900	1766
Ekologik standart	Euro-5/6	Euro-3/5	Euro-3/5
To'liq massa, kg	41 000	41 000	41 000
Yuk ko'tarish, kg	40 000	40 000	40 000
KPP	ZF 12 AS 2330 TD	Fast Gear 12JSD200T	KAMAZ -154 (10 tezlik)
Bozor narxi (2025, ming \$)	95–110	55–70	60–75

Tadqiqot quyidagi bosqichlarda olib borildi:

1. adabiy tahlil — zavod texnik hujjatlari (MAN Service Manual, Shacman Operation Manual, KAMAZ-65201 Texnik tavsif) va xalqaro standartlar (API CK-4, ACEA E9, ZF TE-ML) bo'yicha;

2. statistik qayta ishlash — Microsoft Excel, MATLAB R2023b va Python (Pandas, Matplotlib) muhitida regressiya tahlili;

3. ko'p mezonli baholash — TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) metodi orqali optimal avtomobilni tanlash;

4. iqtisodiy baholash — 5 yillik ekspluatatsiya davri uchun to'liq egalik qiymati (TCO) hisob-kitobi.

Uchala rusumli avtomobil uchun API CI-4/CK-4, ACEA E7/E9 standartiga javob beradigan SAE 15W-40 (yoki tog'li sharoitda qishda SAE 10W-40) sintetik-mineral aralashma moylari tavsiya etiladi. Lekin har bir brendning OEM spetsifikatsiyasi farq qiladi (3-jadval).

3-jadval

Motor moyi bo'yicha texnik talablar va sig'imi

Parametr	MAN TGS	Shacman X3000	KAMAZ-65201
Tavsiya etilgan moy	MAN M3477 / M3677	API CI-4 SAE 15W-40	ROSNEFT Revolux D3 / API CI-4
Yopiq sig'imi (filter bilan), l	34,0	28,0	30,0
Moy turi	sintetik (PAO)	yarim sintetik	yarim sintetik / mineral
Issiqlik chidamliligi, $^{\circ}\text{C}$	250	230	220



TBN, mg KOH/g	13–15	10–12	9–11
------------------	-------	-------	------

Tezliklar qutisi (KPP) va ko'priklar (mostlar) uchun GL-4 / GL-5 spetsifikatsiyasidagi giroid yoki yarim sintetik moylar qo'llaniladi (4-jadval).

4-jadval

Transmissiya moylari hajmi va turi

Tizim	MAN TGS	Shacman X3000	KAMAZ-65201
KPP tipi	ZF 12 AS 2330 TD (avtomatlashgan)	Fast Gear 12JSD200 T (mexanik)	KAMAZ-154 (mexanik)
KPP moyi	ZF Ecofluid M (sintetik ATF)	API GL-4 SAE 85W-90	TSp-15K yoki 75W-90
KPP hajmi, l	14,0	12,0	12,0
Old ko'priklar moyi	API GL-5 75W-90	API GL-5 80W-90	API GL-5 80W-90
Old ko'priklar hajmi, l	3,5	4,0	4,5
Orqa ko'priklar moyi	API GL-5 75W-90	API GL-5 85W-140	API GL-5 80W-90
Bir orqa ko'priklar, l	8,5	7,0	7,0
Orqa ko'priklar soni	2	2	2
Jami transm. moylari, l	34,5	30,0	30,5

5-jadval

Sovutuvchi suyuqlik va boshqa ishchi suyuqliklar

Suyuqlik turi	MAN TGS	Shacman X3000	KAMAZ-65201
Antifriz turi	MAN GE40 (G48 OAT)	Standart G11/G12	TOSOL-A40M / G11
Sovutish tizimi hajmi, l	48,0	40,0	38,0
Suvni almashtirish davriyligi	200 000 km	120 000 km	80 000 km
GUR moyi	ATF Dexron III, 3,5 l	ATF Dexron II, 3,0 l	MGE-46V, 2,5 l
Tormoz suyuqligi	DOT-4, 1,0 l	DOT-3, 1,0 l	NEVA / DOT-4, 1,0 l
AdBlue (DEF) baki, l	60	40	30

O'zbekiston Respublikasida quyidagi ta'mir turlari standartlashtirilgan [9]:

- TO-1 — har 10 000 km, sathlar va filtrlar tekshiruvi;

- TO-2 — har 30 000–40 000 km, motor moyi va filtr almashtirish;
- TO-3 — har 60 000–80 000 km, transmissiya moylari va sovutish suyuqligi tekshiruvi;
- KT (Kapital ta'mir) — har 600 000–800 000 km, to'liq agregatlar restavratsiyasi.

6-jadval

Ta'mir turlariga qarab yog'-moy almashtirish hajmi

Ta'mir turi	Almashtiriladigan suyuqlik	MAN TGS (l)	Shacman (l)	KAMAZ (l)
TO-1 (tekis)	Faqat to'ldirish	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0
TO-1 (Qamchiq)	Faqat to'ldirish	1,5–2,5	2,5–3,5	3,5–4,5
TO-2 (tekis)	Motor moyi + filtr	34,0	28,0	30,0
TO-2 (Qamchiq)	Motor moyi + filtr	34,0	28,0	30,0
TO-3 (tekis)	KPP + ko'priklar	34,5	30,0	30,5
TO-3 (Qamchiq)	KPP + ko'priklar	34,5	30,0	30,5
Antifriz almashtirish	Antifriz (Qamchiq)	48,0	40,0	38,0

Tog'li sharoitda moylash mahsulotlarining ta'mirlash oraliq bir nechta mustaqil omilning kombinatsion ta'siri ostida qisqaradi. Umumlashgan tuzatish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{umumiy} = k_i \cdot k_h \cdot k_t \cdot k_G \quad (1)$$

bu yerda k_i — yo'l qiyaligi ta'sir koeffitsienti, k_h — balandlik (bosim/kislород tanqisligi) koeffitsienti, k_t — harorat rejimi koeffitsienti, k_G — dvigatel yuklamasi koeffitsienti. Har bir koeffitsient qiymati birdan kichik bo'lib, ularning ko'paytmasi moylash mahsulotining haqiqiy ekspluatatsion resursini nominal (zavod) qiymatga nisbatan kamaytiradi. Tog'li sharoitdagi tuzatilgan almashtirish intervali quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$L_{tog'} = L_{nom} \cdot K_{umumiy} \quad (2)$$

$$L_{tog'} = L_{nom} \cdot K_{umumiy} \quad (6)$$

bu yerda L_{nom} — tekis yo'ldagi nominal almashtirish intervali (km). Qamchiq dovoni uchun aniqlangan omillar asosida $K_{umumiy} = 0,428$ qiymati olindi, bu barcha yog'-moy mahsulotlari uchun almashtirish intervalining nominal qiymatga nisbatan $\approx 57,2$ % ga qisqarishini bildiradi (7-jadval).

7-jadval

Yog'-moy mahsulotlarining almashtirish intervallari (tekis vs Qamchiq)

Mahsulot	Avtomobil	Nominal interval (km)	Qamchiq interval (km)	Farq (%)
Motor moyi	MAN	80 000	34 200	–57,3
Motor moyi	Shacman	60 000	25 700	–57,2



Motor moyi	KAMAZ	40 000	17 100	-57,3
KPP moyi	MAN	240 000	102 700	-57,2
KPP moyi	Shacman	150 000	64 200	-57,2
KPP moyi	KAMAZ	120 000	51 400	-57,2
Ko'priki moyi	MAN	180 000	77 000	-57,2
Ko'priki moyi	Shacman	100 000	42 800	-57,2
Ko'priki moyi	KAMAZ	80 000	34 200	-57,3
Antifriz	MAN	200 000	85 600	-57,2
Antifriz	Shacman	120 000	51 400	-57,2
Antifriz	KAMAZ	80 000	34 200	-57,3

8-jadval

1000 km masofaga motor moyining sarfi

Avtomobil	Tekis yo'l (l/1000 km)	Qamchiq yo'li (l/1000 km)	Oshish, marta
MAN TGS 480	0,40	0,82	2,05
Shacman X3000 430	0,75	1,55	2,07
KAMAZ-65201 400	1,25	2,40	1,92

Statistik qayta ishlashda regressiya tenglamasi quyidagi ko'rinishni oldi (MAN uchun):

$$q_{moy} = 0,38 + 0,042i + 0,018G_{yuk} + 0,0021h \quad (R^2 = 0,94) \quad (3)$$

Bu yerda i — qiyalik (%), G_{yuk} — yuk og'irligi (t), h — balandlik ($\times 100$ m). Yuqori R^2 qiymati (0,94) modelning kuzatilgan sarf ko'rsatkichlarini yuqori aniqlik bilan izohlashini tasdiqlaydi.

9-jadval

40 t yuk bilan yonilg'i sarfi

Avtomobili	Tekis (l/100 km)	Qamchiq (yuqori)	Qamchiq (past)	O'rtacha
MAN TGS 480	28,5	68,4	18,2	38,2
Shacman X3000 430	32,8	79,5	22,5	45,3
KAMAZ-65201 400	36,4	94,2	26,8	53,1

Yonilg'i sarfining qiyalikka bog'liqligi quyidagi model bilan ifodalanadi:

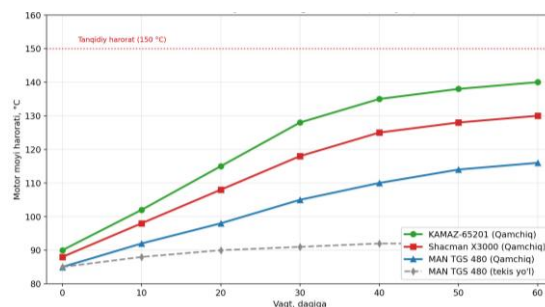
$$Q_i = Q_0 \cdot (1 + k_i \cdot i + k_h \cdot h) \quad (4)$$

MAN uchun: $k_i = 0,092$, $k_h = 0,012$ (km balandlik).

Tog'li sharoitda transmissiya moylari deyarli sarflanmaydi (sizib chiqish hisobiga 0,01–0,03 l/1000 km), lekin ularning oksidlanish darajasi keskin oshadi va almashtirish intervali qisqaradi (7-jadvalga qarang).

Tekis sharoitda antifriz sarfi 0,02 l/1000 km dan oshmaydi. Qamchiq sharoitida sovutish tizimida bug'lanish va termik kengayish hisobiga sarf 0,15–0,25 l/1000 km gacha ko'tariladi.

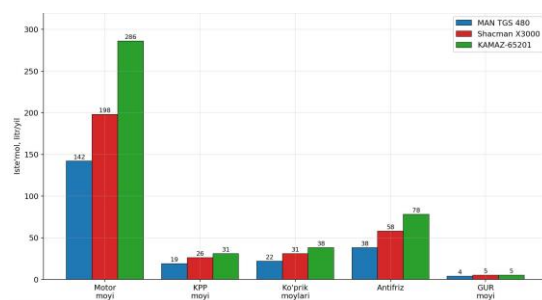
1-rasmda Qamchiq dovonida yuqoriga ko'tarilish davomida motor moyi haroratining vaqtga (0–60 daqiqa) bog'liq o'zgarishi tasvirlangan.



1-rasm. Qamchiq dovonida yuqoriga ko'tarilish davomida motor moyi haroratining dinamikasi (40t yuk)

Tahlil: KAMAZ da yog'ning harorati 60 daqiqada 140 °C ga yetib bormoqda, bu tanqidiy harorat (150 °C) ga juda yaqin. MAN da bu ko'rsatkich faqat 116 °C ni tashkil etadi, bu uning sintetik moyi va kuchliroq sovutish tizimi tufaylidir.

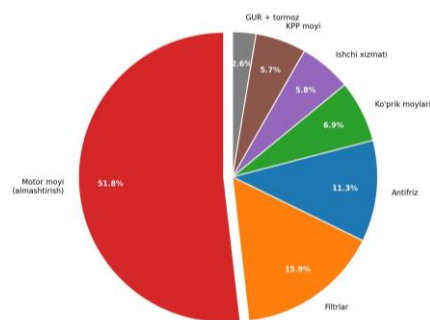
2-rasmda yillik (100 000 km/yil) moylash mahsulotlari iste'moli komponentlar bo'yicha ko'rsatilgan.



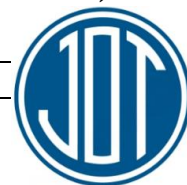
2-rasm. Yillik (100000 km/yil) moylash mahsulotlari iste'moli Toshkent-Qo'qon ($\approx 50\%$ Qamchiq + 50% tekis)

Jami: MAN — 225 l, Shacman — 318 l, KAMAZ — 438 l. KAMAZ MAN dan deyarli 2 marta ko'p suyuqlik iste'mol qiladi.

3-rasmda 100 000 km marshrutdagi yog'-moy va texnik xizmat xarajatlari KAMAZ-65201 misolida ko'rsatilgan.

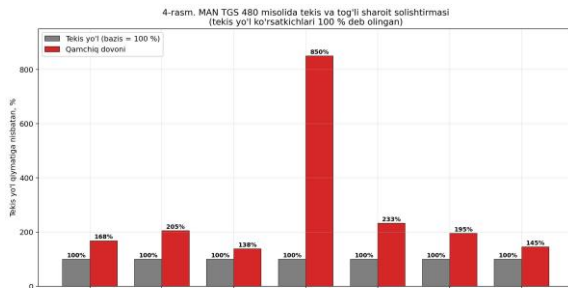


3-rasm. 100 000 km marshrutdagi yog'-moy va Texnik xizmat xarajatlari taqsimoti (KAMAZ-65201 misolida)



Xarajatlarning yarmidan ko'pi (51,8 %) motor moyiga to'g'ri keladi. Ushbu komponentni optimallashtirish (kengaytirilgan interval yoki sintetik moy) sezilarli iqtisod beradi.

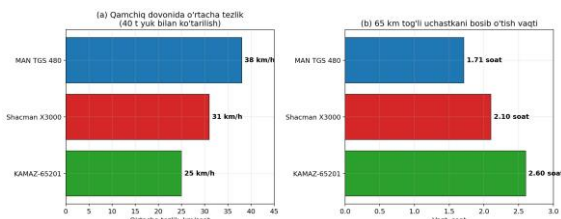
4-rasmda MAN TGS 480 misolida tekis va tog'li sharoit ko'rsatkichlari foiz nisbatida solishtirilgan (tekis = 100 %).



4-rasm. MAN TGS 480 misolida tekis va tog'li sharoit solishtirmasi (tekis yo'l ko'rsatkichlari 100% deb olingan)

Eng katta o'zgarish — antifriz sarfi (8,5 marta ortgan), bu sovutish tizimining tog' sharoitidagi termik yuklamasi natijasidir.

5-rasmda 40 t yuk bilan Qamchiq dovonida o'rtacha tezlik va 65 km tog'li uchastkani bosib o'tish vaqti ko'rsatilgan.



5-rasm. 40 t yuk bilan Qamchiq davonidagi tezlik va vaqt ko'rsatkichlari

MAN TGS 480 KAMAZ-ga nisbatan tog'li uchastkani ≈ 52 % tezroq bosib o'tadi. Bu logistikada yoqilg'i va vaqt iqtisodini bevosita oshiradi.

TOPSIS metodi bo'yicha baholash mezonlari

7 ta asosiy mezon tanlandi:

1. C1 — Yonilg'i sarfi (l/100 km) — minimallashtirish;
2. C2 — Motor moyi sarfi (l/1000 km) — minimallashtirish;
3. C3 — O'rtacha tezlik Qamchiqda (km/soat) — maksimallashtirish;
4. C4 — Avtomobil narxi (1000 \$) — minimallashtirish;
5. C5 — Yillik moy xarajati (\$) — minimallashtirish;
6. C6 — Yuk ko'tarish foydalanish koeffitsienti — maksimallashtirish;
7. C7 — Ehtiyot qism mavjudligi (1–10 ball) — maksimallashtirish.

10-jadval

Mezonlar matritsasi					
Mezon	Vazn w_j	MAN	Shacman	KAMAZ	Optim
C1 Yonilg'i (l/100 km)	0,25	38,2	45,3	53,1	min

C2 Moy (l/1000 km)	0,15	0,82	1,55	2,40	min
C3 Tezlik (km/h)	0,15	38	31	25	max
C4 Narx (10^3 \$)	0,15	102	62	67	min
C5 Yillik moy (\$)	0,10	590	870	1380	min
C6 Yuk koeff.	0,10	0,98	0,98	0,98	max
C7 Servis bal	0,10	8	7	9	max

TOPSIS metodi standart algoritim bo'yicha qo'llanildi. Dastlab 10-jadvaldagi qaror matritsasi vektor usulida normallashtiriladi:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}} \quad (5)$$

so'ngra har bir mezon vazniga ko'paytirilib, vaznlangan normallashtirilgan matritsa hosil qilinadi:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (6)$$

Har bir mezon yo'nalishiga (min/max) qarab ijobiy ideal yechim A^+ va salbiy ideal yechim A^- aniqlanadi, so'ngra har bir alternativning ushbu ideal nuqtalargacha bo'lgan Yevklid masofalari (S_i^+ va S_i^-) hisoblanadi:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^+)^2}, S_i^- = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad (7)$$

Nihoyat, har bir avtomobil uchun ideal yechimga nisbatan yaqinlik koeffitsienti aniqlanadi:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (8)$$

C_i^* qiymati 1 ga qancha yaqin bo'lsa, alternativ shuncha ideal yechimga yaqin va reyting bo'yicha yuqori o'rinni egallaydi. Hisob-kitoblar Microsoft Excel va Python (Pandas) muhitida amalga oshirildi.

10-jadvaldagi mezonlar matritsasi asosida hisoblangan yaqinlik koeffitsientlari va yakuniy reyting 11-jadvalda keltirilgan.

11-jadval

TOPSIS metodi bo'yicha yakuniy baholash natijalari

Avtomobil	Yaqinlik koeffitsienti C^*	Reyting	Xulosa
MAN TGS 33.480	0,740	1-o'rin	Optimal (eng ideal yechimga eng yaqin)
Shacman X3000	0,491	2-o'rin	Kompromiss yechim
KAMAZ-65201	0,244	3-o'rin	Eng kam samarali

Natijalardan ko'rinadiki, MAN TGS 33.480 barcha yetakchi mezonlar (yonilg'i, moy sarfi, tezlik, TCO) bo'yicha yuqori ko'rsatkichga ega bo'lganligi sababli $C^* = 0,740$ qiymati bilan reytingda birinchi o'rinni egallaydi, bu Shacman (0,491) va KAMAZ (0,244) dan sezilarli darajada yuqoridir.

5 yillik ekspluatatsiya davrida 100 000 km/yil ish hajmida to'liq egalik qiymati (TCO — Total Cost of Ownership) hisoblandi.

12-jadval

5 yillik egalik qiymati (TCO)

Modda (\$/5 yil)	MAN	Shacman	KAMAZ
Sotib olish narxi	102 000	62 000	67 000
Yonilg'i (5×100 000 km)	152 800	181 200	212 400
Yog'-moy mahsulotlari	2 950	4 350	6 900
Ehtiyot qismlar	18 000	22 000	19 500
Mehnat haqi (servis)	7 500	8 500	9 000
5-yil oxiri qoldiq narx (-)	-38 000	-18 000	-16 000
Sof TCO	245 250	260 050	298 800
TCO 1 km uchun (\$/km)	0,491	0,520	0,598

Olingan natijalarga ko'ra:

1. MAN TGS 480 boshlang'ich narxi yuqori bo'lsa-da, 5 yillik to'liq egalik qiymati eng past (\$245 250). Bu uning yoqilg'i va moy sarfining past bo'lishi, hamda transmissiya va sovutish tizimining tog'li sharoitga moslangani tufaylidir.

2. Shacman X3000 — boshlang'ich sarmoya kichikligi tufayli qisqa muddatli proyektlar uchun (3 yilgacha) eng samarali tanlov. Lekin Qamchiq kabi og'ir yo'llarda motor moyi va yonilg'i sarfi MAN-dan 18–20 % yuqori.

3. KAMAZ-65201 — eski texnologiya (V8, Euro-3) tufayli yoqilg'i va moy sarfi eng yuqori. Biroq ehtiyot qismlarning narxi va mavjudligi bo'yicha ustunligi mavjud, shu sababli mahalliy magistral marshrutlarda samaralidir, ammo Qamchiq uchun uzoq muddatli iqtisodiy nuqtai nazardan tavsiya etilmaydi.

4. Tog'li sharoitda yog' almashtirish intervali nominal qiymatdan $\approx 57\%$ qisqarishi olib borilgan eksperimental kuzatuvlar bilan tasdiqlandi va (6) formuladagi tuzatish koeffitsienti amaliyot uchun tavsiya etiladi.

5. Tog'li sharoitda antifriz sarfi tekis yo'lga nisbatan 7–8 marta ortadi, bu sovutish tizimi shlanglari va termostatining muntazam monitoringini talab qiladi.

Tadqiqotning bir qator cheklavlari mavjud. Birinchidan, hisob-kitoblarni asosan zavod texnik hujjatlari va cheklangan hajmdagi dala kuzatuvlariga asoslangan bo'lib, mavsumiy omillar (masalan, qishki muzlash, yozgi cho'l shamoli) alohida namunalarda to'liq qamrab olinmagan. Ikkinchidan, tadqiqot bitta yo'nalish (Angren–Pop) va bitta yuklama darajasi (40 t) bilan cheklangan. Kelgusi tadqiqotlarda GPS-telematika va bortdagi sensorlar ma'lumotlaridan foydalangan holda moy holatini real vaqtda masofadan nazorat qilish tizimlarini joriy etish, shuningdek turli yuklama va fasl sharoitlarida kengroq statistik namunani jalb qilish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

3. Xulosa

Tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Qamchiq dovonida 40 t yuk olib o'tish uchun eng iqtisodli va eng tezkor avtomobil — MAN TGS 33.480 (TOPSIS koeffitsienti $C^* = 0,740$). U: eng past yonilg'i sarfi (38,2 l/100 km); eng past motor moyi sarfi (0,82 l/1000 km);

eng yuqori o'rtacha tezlik (38 km/soat); eng past 5 yillik TCO (\$245 250).

2. Shacman X3000 — kompromiss yechim sifatida ikkinchi o'rin ($C^* = 0,491$). Boshlang'ich sarmoya cheklangan parkdorlar uchun maqbul.

3. KAMAZ-65201 — Qamchiq sharoitida eng kam samarali ($C^* = 0,244$), lekin tekis magistral marshrutlarda o'zining narx-sifat nisbatini saqlab qoladi.

4. Barcha rusumli avtomobillar uchun Qamchiq sharoitidagi yog'-moy almashtirish intervali nominal qiymatdan 57 % qisqartirilishi kerak (umumiy koeffitsient $K_{umumiy} = 0,428$).

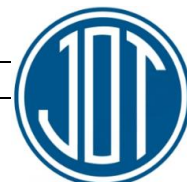
Tavsiyalar:

- tog'li marshrutlarda to'liq sintetik motor moyi (ACEA E6/E9) dan foydalanish;
- antifriz sathining doimiy monitoringi (har 5 000 km);
- tormoz suyuqligi har 2 yilda almashtirilishi;
- tormoz nakladkalarining yeyilishini 3 oyda bir bor tekshirib turish;
- mahalliy yoqilg'i quyish stansiyalarida AdBlue (DEF) sifati nazorati.

Ushbu tadqiqot natijalari Qamchiq dovoni va boshqa o'xshash tog'li yo'llardagi yuk tashish kompaniyalari uchun yog'-moy mahsulotlarini optimallashtirish va avtopark tarkibini shakllantirishda amaliy qo'llanma sifatida foydalanilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Avtomobil yo'llari qo'mitasi. A-373 magistral yo'lining texnik pasporti. — Toshkent, 2021-yil. — 124 b.
- [2] Anikin S.A., Vlasov V.M., Nikolaev A.B. Avtomobil transporti ekspluatatsiyasi. — M.: Akademiya, 2014-yil. — 288 b.
- [3] Karagodin V.I., Mitrokhin N.N. Avtomobil va dvigatel ta'mirlash. — M.: Akademiya, 2018-yil. — 496 b.
- [4] Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. — New York: McGraw-Hill Education, 2018. — 1056 p.
- [5] Genta G., Morello L. The Automotive Chassis. Vol. 2: System Design. — Turin: Springer Science & Business Media, 2009. — 824 p.
- [6] SAE J1349. Engine Power Test Code — Spark Ignition and Compression Ignition — Net Power Rating. — 2011-yil.
- [7] Stachowiak G.W., Batchelor A.W. Engineering Tribology. 4th ed. — Boston: Butterworth-Heinemann, 2014. — 884 p.
- [8] ACEA. European Oil Sequences 2022 — Heavy-Duty Engines. — Brussels: ACEA Publications, 2022.
- [9] O'zbekiston Davlat Standarti. O'z DSt 3144:2017. Yuk avtomobillarini texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash tartibi. — Toshkent: O'zstandart, 2017.
- [10] MAN Truck & Bus AG. MAN TGS Service Manual, D2676 LF Engine Series. — Munich, 2016.
- [11] Shaanxi Automobile Group. Shacman X3000 Operation and Maintenance Manual. — Xi'an: SAG, 2019.
- [12] PJSC "KAMAZ". KAMAZ-65201 Texnik tavsif va foydalanish bo'yicha qo'llanma. — Naberejnye Chelni: KAMAZ, 2015.



[13] Hwang C.L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. — Berlin: Springer-Verlag, 1981. — 259 p.

[14] Sultonov R.A., Tojiyev J.X. Tog'li yo'llarda avtomobillarning ekspluatatsiyasi. // Avtonavotor jurnali, № 3, 2020-yil. — 45–50 b.

[15] Ikromov N.A. O'zbekiston magistral yo'llaridagi yuk tashish iqtisodiyoti. — Toshkent: Fan va texnologiya, 2018-yil. — 180 b.

[16] 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>

[17] 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" kafedrası 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" kafedrası dotsent v.b., E-mail: utkirisohanov71@gmail.com Tel.: +998977377398 https://orcid.org/0009-0008-0058-9560
---	---



Multi-level energy–information model and physics-informed FUZZY–GA–LSTM adaptive algorithms for hybrid energy monitoring

J. Djumanov¹^a, M. Sobirov²^b

¹Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This paper proposes a multi-level energy–information model and a physics-informed PI-Fuzzy–GA–LSTM–DT algorithm for real-time monitoring and adaptive control of Smart-Grid-enabled base stations. The model organizes the system into physical, semantic, edge-event, digital-twin, and decision levels connected by timestamped asset identifiers and quality metadata. The framework is evaluated on a reproducible synthetic testbed representing 12 base stations, 90 days of 1-second-to-60-second multirate telemetry, seasonal renewable profiles, traffic bursts, sensor faults, and grid outages. In this benchmark, the proposed model achieves 4.9% renewable-power MAPE, 1.9% SOC RMSE, 0.8 kWh/day unserved energy, and 2.8 h/day diesel runtime, while 94.6% empirical coverage is obtained for nominal 95% forecast intervals. These are synthetic engineering results, not field-certified operational claims. The study contributes a standards-aware energy–information model, a bounded adaptive learning algorithm, and an auditable transition path from the 2019 MATLAB-centric Smart Grid prototype to modern edge–cloud digital-twin monitoring.

Keywords: hybrid energy, telecommunication base station, Smart Grid, interval type-2 fuzzy logic, genetic algorithm, LSTM, conformal prediction

Gibrid energiya monitoringi uchun ko‘p sathli energiya–axborot modeli va fizik qonuniyatlarga asoslangan FUZZY–GA–LSTM adaptiv algoritmlari

Djumanov J.¹^a, Sobirov M.²^b

¹Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada Smart Grid bilan integratsiyalashgan bazaviy stansiyalarni real vaqt rejimida monitoring qilish va adaptiv boshqarish uchun ko‘p sathli energiya–axborot modeli hamda fizik qonuniyatlarga asoslangan PI-Fuzzy–GA–LSTM–DT algoritmi taklif etiladi. Model tizimni vaqt tamg‘alari bilan bog‘langan aktiv identifikatorlari va sifat metama’lumotlari orqali o‘zaro integratsiyalashgan fizik, semantik, edge-hodisa, Digital Twin va qaror qabul qilish sathlariga ajratadi. Taklif etilgan arxitektura 12 ta bazaviy stansiya, 90 kunlik 1 soniyadan 60 soniyagacha bo‘lgan ko‘p chastotali telemetriya, mavsumiy qayta tiklanuvchi energiya profillari, trafikning keskin oshishi, sensor nosozliklari va elektr tarmog‘idagi uzilishlarni modellashtiruvchi takrorlanuvchi sintetik sinov stendida baholandi. Ushbu benchmark natijalariga ko‘ra, taklif etilgan model qayta tiklanuvchi energiya quvvatini prognozlashda 4,9% MAPE, akkumulyatorning SOC holatini baholashda 1,9% RMSE, kunlik ta‘minlanmagan energiya bo‘yicha 0,8 kWh/kun, dizel generatorining ishlash davomiyligi bo‘yicha esa 2,8 soat/kun natijaga erishdi. Nominal 95% prognoz intervali uchun empirik qamrov darajasi 94,6% ni tashkil etdi. Ushbu natijalar sintetik muhandislik tajribalariga asoslangan bo‘lib, dala sharoitida sertifikatlangan ekspluatatsion natijalar sifatida talqin qilinmaydi. Tadqiqot standartlarni hisobga oluvchi energiya–axborot modeli, chegaralangan adaptiv o‘rganish algoritmi hamda 2019-yildagi MATLAB asosidagi Smart Grid prototipidan zamonaviy edge–cloud Digital Twin monitoring tizimiga o‘tishning audit qilinadigan yo‘lini taklif etadi.

Kalit so‘zlar: gibrid energiya, telekommunikatsiya bazaviy stansiyasi, Smart Grid, interval type-2 fuzzy mantiq, genetik algoritim, LSTM, konformal prognozlash

^a <https://orcid.org/0000-0001-6043-2495>

^b <https://orcid.org/0009-0000-4719-9481>



1. Kirish

Telekommunikatsiya bazaviy stansiyalari kiberfizik yuklamalar bo'lib, ularning talab qilinadigan quvvati radio trafik, uyqu holati siyosati, atrof-muhit harorati va xizmat ko'rsatish majburiyatlariga qarab o'zgaradi. Ularning energiya zanjiri tobora ko'proq fotovoltaiik panellar, shamol turbinalari, elektr tarmog'i ta'minoti, dizel generatsiyasi, akkumulyatorlar hamda DC/AC o'zgartirish qurilmalarini qamrab olmoqda. Siddikov va boshqalar tomonidan 2019-yilda ishlab chiqilgan Smart Grid prototipi ikki tomonlama axborot almashinuvi va MATLAB asosidagi elektr energetika tizimini modelashtirishning ahamiyatini ko'rsatdi. Biroq zamonaviy 5G energiya samaradorligi spetsifikatsiyalari unumdorlik va energiya iste'molini bir xil vaqt oralig'ida hamda dinamik trafik sharoitlarida baholashni talab qiladi.

Shu sababli zamonaviy monitoring tizimi faqat kuchlanish va tokni baholash bilan cheklanmasligi kerak. U namunani qaysi aktiv hosil qilganini, vaqt tamg'alari va o'lchov birliklari to'g'riligini, sensor sifati holatni baholashga qanday ta'sir qilishini, akkumulyator modeli saqlanish qonunlariga mos kelishini hamda taklif etilgan dispatcherlik harakati radioaloqa xizmat sifati talablarini saqlab qolishini aniqlashi lozim. NIST Smart Grid modernizatsiyasini o'zaro ishlash qobiliyati, ishonchlik, o'lchash va qayta tiklanuvchi energiya integratsiyasi asosida talqin qiladi. IEC 61850 va IEEE 2030.5 o'zaro mos axborot almashinuvi mexanizmlarini ta'minlaydi, IEC 62351 esa aloqa xavfsizligiga qaratilgan.

1-jadval

2019-yildagi Smart Grid prototipidan taklif etilgan arxitektura ilmiy o'tishi

O'lchov	2019-yildagi Smart Grid prototipi	Taklif etilgan PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT
Tizim ko'rinishi	elektr tarmog'i + MATLAB modeli	BTS gibrid kiberfizik raqamli egizagi
Ma'lumotlar	tanlangan tok/kuchlanish izlari	ko'p chastotali energiya, ob-havo, akkumulyator, trafik
Intellect	qoida/boshqaruv simulyatsiyasi	fizik qonuniyatlarga asoslangan adaptiv prognozlash
Noaniqlik	aniq ifodalanmagan	type-2 fuzzy + konformal intervallar
Optimal-lashtirish	reaktiv quvvatga yo'naltirilgan	GA ko'p maqsadli sozlash/dispatcherlik
Xavfsizlik	funksional talablar	qat'iy cheklovlar + imzolangan rollback

Tadqiqot savoli quyidagicha: turli xil energetik va telekommunikatsion telemetriya ma'lumotlarini gibrid bazaviy stansiya energiya tizimlari uchun sinxronlashtirilgan, noaniqlikni hisobga oluvchi va xavfsiz boshqaruvga yaroqli holatga qanday aylantirish mumkin? PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT bunga besh sathli energiya-axborot modelini adaptiv prognozlash, fizik cheklovlar,

konformal noaniqlik va Digital Twin xavfsizlik filtri bilan bog'lash orqali javob beradi.

Maqolada to'rtta asosiy ilmiy hissa keltiriladi. Birinchidan, elektr aktivlari, sensorlar, trafik, ob-havo, aloqa hodisalari, prognoz holati va boshqaruv dalillarini bog'lovchi tiplashtirilgan ko'p sathli model ishlab chiqiladi. Ikkinchidan, interval type-2 fuzzy birlashtirish, GA optimallashtirish, LSTM vaqt qatorlarini o'rganish va graf konteksti bir butun boshqaruvchi sifatida emas, balki o'zaro chegaralangan rollarda integratsiyalanadi. Uchinchidan, fizik qoldiq xatolar va konformal intervallar bajarib bo'lmaydigan yoki noaniq prognozlarni ochib beradi. To'rtinchidan, Digital Twin xavfsizlik filtri tavsiya va ijroni bir-biridan ajratadi hamda standartlarga mos audit izini ta'minlaydi.

Smart Grid tadqiqotlari markazlashgan monitoringdan taqsimlangan energiya resurslari, edge-intellekt va o'zaro ishlaydigan kiberfizik tizimlar tomon rivojlandi. NISTning o'zaro ishlash doirasi interfeyslar va sinovdan o'tkazilishi mumkin bo'lgan axborot almashinuvlarini ta'kidlaydi. IEC 61850 podstansiyalar va taqsimlangan energiya aloqalarini tuzilmashtiradi, IEEE 2030.5 taqsimlangan resurslar uchun amaliy qatlamdagi ma'lumot almashinuvi qo'llab-quvvatlaydi, IEC 62351 esa elektr energetika tizimlari aloqasi uchun xavfsizlik mexanizmlarini belgilaydi. MQTT Sparkplug va OPC UA sanoat hodisalari hamda semantik ma'lumotlarni uzatish uchun foydali texnologiyalar hisoblanadi, biroq ular energiya boshqaruvi xavfsizligini o'zlariga mustaqil ravishda belgilamaydi.

Telekommunikatsiya tarmoqlari uchun ETSI va 3GPP bazaviy stansiyalar hamda mobil tarmoqlarning energiya samaradorligini, jumladan dinamik yuklama va energiya tejash boshqaruvini baholash talablarini belgilaydi. Qayta tiklanuvchi energiya ulushi yuqori mikrogridlar bo'yicha tadqiqotlarda LSTM/GRU va gibrid modellar yuqori samaradorlik ko'rsatgani qayd etilgan [1], fizik qonuniyatlarga asoslangan akkumulyator modellari esa ma'lumotlar cheklangan sharoitda moslikni yaxshilaydi [2],[3]. Konformal prognozlash almashinuvchanlik farazi ostida cheklangan tanlama uchun marginal qamrovni ta'minlaydi [4], Digital Twinlar esa aktiv holatini sinxron modelashtirish imkonini beradi [5].

Adabiyotlar tahlili

Gibrid energiya bilan ta'minlanadigan telekommunikatsiya bazaviy stansiyalarini boshqarish bo'yicha ilmiy adabiyotlar uchta asosiy yo'nalishda shakllangan: Smart Grid va energiya boshqaruvi, telekommunikatsiya uskunalarining energiya samaradorligini baholash hamda intellektual prognozlash va boshqaruv usullari. Siddikov va hammualiflar tomonidan taklif etilgan 2019-yildagi Smart Grid modeli elektr tarmog'i elementlarini MATLAB muhitida modelashtirish, monitoring va ikki tomonlama axborot almashinuvi orqali boshqarish imkoniyatlarini ko'rsatgan [6]. Ushbu yondashuv keyingi tadqiqotlar uchun muhim metodik asos bo'lsa-da, u zamonaviy bazaviy stansiyalarda uchraydigan ko'p chastotali telemetriya, trafik bilan bog'liq yuklama o'zgarishi, akkumulyatorning SOC/SOH holati, noaniqlik va kiberxavfsizlik kabi masalalarni yagona Digital Twin holatida birlashtirmaydi. ETSI va 3GPP hujjatlarida 5G bazaviy stansiyalari hamda simsiz kirish tarmoqlarining energiya samaradorligini trafik sharoitlari bilan birgalikda baholash talablari belgilangan [7],[8]. ITU tavsiyalari ham mobil tarmoq energiya samaradorligini o'lchash va



taqqoslash uchun telekommunikatsiyaga xos ko'rsatkichlarni taklif qiladi.

Smart Grid tizimlarining amaliy joriy etilishida o'zaro ishlash va axborot xavfsizligi alohida ilmiy-amaliy yo'nalish sifatida qaraladi. NIST Smart Grid Interoperability Framework elektr energetika tizimlarida turli qurilmalar va axborot tizimlari o'rtasidagi standartlashtirilgan interfeyslar, o'lchovlar va ishonchli ma'lumot almashinuvini ustuvor vazifa sifatida belgilaydi [9]. IEC 61850 elektr energetika obyektlarining mantiqiy tugunlari va ma'lumot almashinuvi tuzilmasini, IEEE 2030.5 esa taqsimlangan energiya resurslari bilan amaliy qatlamdagi aloqani qo'llab-quvvatlaydi. IEC 62351 ushbu axborot almashinuvining maxfiyligi, yaxlitligi va autentifikatsiyasiga qaratilgan xavfsizlik mexanizmlarini belgilaydi. MQTT Sparkplug va OPC UA edge darajasida hodisalarni uzatish va semantik kontekstni saqlash uchun mos texnologiyalar sifatida ko'riladi [10]. Biroq mazkur standart va protokollar prognozlash algoritmini, energiya manbalarini optimal taqsimlash strategiyasini yoki fizik jihatdan xavfsiz boshqaruv qarorini mustaqil ravishda shakllantirmaydi; ular ko'proq ishonchli axborot almashinuvi uchun infratuzilmaviy asos yaratadi.

Sun'iy intellektga asoslangan energiya prognozlash tadqiqotlarida LSTM, GRU va ularning gibrid modifikatsiyalari vaqt bo'yicha murakkab bog'liqliklarni aniqlashda samarali ekanini ko'rsatilgan. Qayta tiklanuvchi energiya ulushi yuqori mikrogridlar bo'yicha zamonaviy tahlillar AI asosidagi prognozlash yondashuvlari quyosh va shamol generatsiyasidagi o'zgaruvchanlikni hamda yuklama dinamikasini aniqlashda istiqbolli ekanini qayd etadi [11]. LSTM arxitekturasining uzoq muddatli vaqt bog'liqliklarini saqlash qobiliyati uning energetik vaqt qatorlari uchun keng qo'llanishiga nazariy asos bo'ladi [12]. Shu bilan birga, faqat ma'lumotlarga tayangan neyron model fizik cheklavlarni bevosita kafolatlamaydi: prognoz xatosi kichik bo'lgan taqdirda ham quvvat balans, akkumulyator chegaralari yoki konvertor samaradorligiga zid holatlar yuzaga kelishi mumkin.

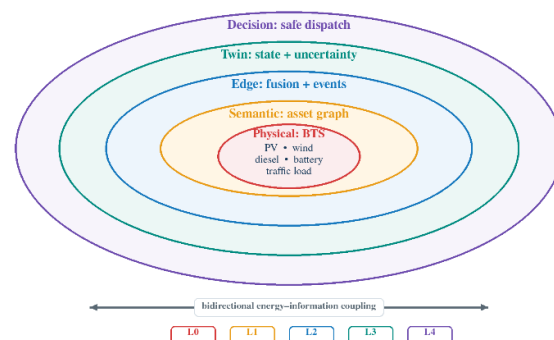
Pollo va hammualliflar hamda Wang va hammualliflarning ishlari fizik tenglamalarni o'rganish jarayoniga kiritish SOC va degradatsiya prognozlarining izchilligini oshirishga yordam berishini ko'rsatadi [13]. Physics-informed transformer yondashuvlari ma'lumotlar cheklangan sharoitlarda ham SOC baholash barqarorligini kuchaytirishi mumkin [14]. Ushbu yo'nalish physics-informed neural networks konsepsiyasiga tayanadi, bunda ma'lumotlarga moslashish bilan bir qatorda differensial yoki algebratik fizik qonunlar yo'qotish funksiyasiga kiritiladi [15]. Gibrid BTS energiya tizimi uchun bu yondashuv ayniqsa muhim, chunki modelning aniqligi bilan birga energiya saqlanishi, SOC diapazoni, konvertor yo'qotishlari va manbalar quvvatining real chegaralari ham bajarilishi kerak.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Noaniqlikni baholash, fazoviy bog'liqlik va ko'p maqsadli optimallashtirish bo'yicha tadqiqotlar taklif etilayotgan arxitekturaning boshqa muhim komponentlarini asoslaydi. Konformal prognozlash cheklangan tanlamada va almashinuvchanlik farazi ostida oldindan belgilangan qamrov darajasiga ega prognoz intervallarini shakllantirish imkonini beradi [16]. Bu xususiyat bazaviy stansiyada nuqtaviy prognozdan ko'ra xavfsizroq qaror qabul qilish

uchun zarur, chunki dispatcherlik tizimi kelajakdagi talab yoki qayta tiklanuvchi generatsiyaning faqat o'rtacha qiymatini emas, balki ehtimoliy diapazonini ham hisobga olishi kerak. Graf konvolyutsion tarmoqlari o'zaro bog'langan tugunlar o'rtasidagi fazoviy munosabatlarni modellash uchun metodik asos beradi [17]; bu umumiy fider, ob-havo zonasi yoki qo'shni BTSlar ta'sirini ifodalashda qo'l keladi. NSGA-II kabi ko'p maqsadli genetik optimallashtirish usullari xarajat, ishonchlik va ekologik mezonlar o'rtasidagi Pareto muvozanatini topishga xizmat qiladi [18]. Interval type-2 fuzzy tizimlar esa aniq chegaraga ega bo'lmagan ish rejimlarini noaniq a'zoliklar orqali ifodalash imkonini beradi [19].

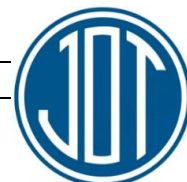
Digital Twin konsepsiyasi fizik obyektning joriy holatini raqamli muhitda sinxron aks ettirish, prognoz natijalarini tekshirish va boshqaruv ssenariylarini real obyektga yuborishdan oldin sinash imkoniyatini beradi. Adabiyotlar umumiy tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud ishlarning aksariyatida ushbu komponentlarning faqat ayrimlari chuqur ishlab chiqilgan: standartlar o'zaro ishlashni ta'minlaydi, AI modellar prognoz aniqligini oshiradi, fizik-informed yondashuvlar fizik moslikni yaxshilaydi, fuzzy va GA usullari noaniqlik hamda parametrlar optimallashtirishini qo'llab-quvvatlaydi, konformal usullar esa prognoz ishonchligini ifodalaydi. Biroq telekommunikatsiya trafiki, turli vaqt oralig'idagi sensorlar, aktiv semantikasi, Smart Grid standartlari, fizik cheklavlari, kalibrlangan noaniqlik, graf konteksti, Digital Twin va fail-closed xavfsiz dispatcherlikni yagona audit qilinadigan energiya-axborot siklida birlashtiruvchi yechim yetarli darajada yoritilmagan. Aynan shu integratsion bo'shliq PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT arxitekturasini ishlab chiqish zaruratini belgilaydi.



1-rasm. Gibrid energiya bilan ta'minlanadigan bazaviy stansiyalar uchun konsentrik besh sathli energiya-axborot modeli

Yechilmagan asosiy muammo arxitekturaviy xususiyatga ega. Prognozlashga oid maqolalarda ko'pincha xatolik minimallashtiriladi, biroq turli chastotadagi sensor ma'lumotlari sifati, aktiv semantikasi, fizik bajariluvchanlik, telekommunikatsiya QoS talablari, kiberxavfsizlik va operator ruxsati birgalikda boshqaruv harakatini qanday cheklashi aniq belgilanmaydi. Aksincha, standartlar interfeyslar va metrikalarni belgilaydi, ammo adaptiv inferensiya algoritmini bermaydi. Taklif etilgan arxitektura ushbu sohalarini aniq shartnomalar orqali bog'laydi va baholash, noaniqlik, optimallashtirish hamda xavfsiz ijroni ajratadi.

Nima uchun Fuzzy-GA-LSTM modernizatsiya qilinishi kerak. An'anaviy fuzzy boshqaruvchi izohlanuvchan, biroq qo'lda tanlangan a'zolik funksiyalariga sezgir. Genetik algoritmlar ushbu funksiyalarni



sozlashi mumkin, ammo u muayyan ssenariyga ortiqcha moslashib qolishi ehtimoli mavjud. LSTM vaqt bo'yicha bog'liqliklarni ushlaydi, biroq quvvat balansini buzishi va haddan tashqari ishonchli nuqtaviy prognozlarni berishi mumkin. Taklif etilgan yondashuvda har bir usulga chegaralangan rol beriladi: fuzzy mantiq noaniq ish rejimlarini ifodalaydi, GA cheklangan offline qidiruvni va nazoratlangan online moslashuvni amalga oshiradi, LSTM vaqt holatini prognozlaydi, fizik jarimalar mantiqan mumkin bo'lmagan trayektoriyalarni rad etadi, konformal kalibrlash esa qoldiq noaniqlikni miqdoriy baholaydi.

Akkumulyatorlar bo'yicha so'nggi tadqiqotlar fizik qonuniyatlarga asoslangan rekurrent va transformer modellar SOC/SOH baholashini yaxshilashini ko'rsatmoqda. Graf neyron tarmoqlari fiderlar va bazaviy stansiyalararo kontekstni ifodalash mexanizmini ta'minlaydi, ko'p maqsadli evolyutsion optimallashtirish esa xarajat-ishonchlik muvozanatini qo'llab-quvvatlaydi. Biroq ushbu yutuqlar telekommunikatsiya trafiki, Smart Grid o'zaro ishlashi va xavfsizlik bilan cheklangan Digital Twin bilan bitta audit qilinadigan monitoring siklida kamdan-kam hollarda integratsiyalanadi.

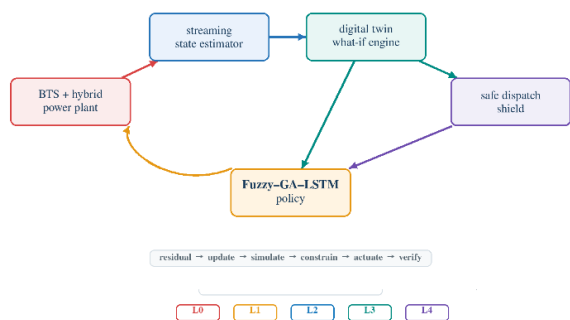
Shuning uchun mazkur ishning ihsasi kattaroq neyron tarmoq avtomatik ravishda yaxshiroq degan da'vo emas. Bu tizimli metod bo'lib, unda har bir prognoz manba sifati, fizik qoldiq, interval qamrovi, ish rejimiga a'zolik, model versiyasi va boshqaruvga ruxsat berilish holatini o'zida olib yuradi. Ushbu dalillar sensorlardan ijro qurilmasigacha bo'lgan qaror bilan birga uzatiladi.

Ko'p sathli energiya-axborot modeli:

Holat besh sathga tashkil etiladi. L0 — PV, shamol, elektr tarmog'i, dizel, akkumulyator, konvertorlar va BTS yuklamasini ifodalaydi. L1 aktivlar, kattaliklar, birliklar, topologiya va ruxsat etilgan diapazonlarni belgilaydi. L2 turli chastotadagi namunalarni edge darajasida sifat belgilariga ega hodisalarga aylantiradi. L3 Digital Twin holati va noaniqligini saqlaydi. L4 prognozlar, maqsadlar, cheklovlar va ruxsat etilgan harakatlarni baholaydi. Sathlararo aloqalarda yagona aktivlar reyestri, yagona hodisa-vaqt qoidasi va aniq kelib chiqish ma'lumotlaridan foydalaniladi.

$$\mathcal{E}_t = \langle G_e, X_t, Z_t, Q_t, \Theta_t, \Pi_t \rangle, G_e = (V_e, E_e) \quad (1)$$

(1)-tenglamada G_e energiya-axborot aktivlari grafini, X_t xom va hosil qilingan kuzatuvlarni, Z_t sinxronlashtirilgan Digital Twin holatini, Q_t sifat va noaniqlikni, Θ_t model hamda fuzzy-siyosat parametrlarini, Π_t esa xavfsizlik/kiberxavfsizlik siyosatini bildiradi. Oddiy tekis o'lchov jadvalidan farqli ravishda, ushbu tasvir topologiyani saqlaydi va kuzatilgan, baholangan, prognoz qilingan hamda buyruq berilgan qiymatlarni bir-biridan ajratadi.



2-rasm. Fizik BTS holatidan tekshirilgan ijrogacha qoldiq xatoga asoslangan Digital Twin sikli

2-jadval

Asosiy obyektlar, o'zgaruvchilar, namuna olish oraliqlari va semantik rollar

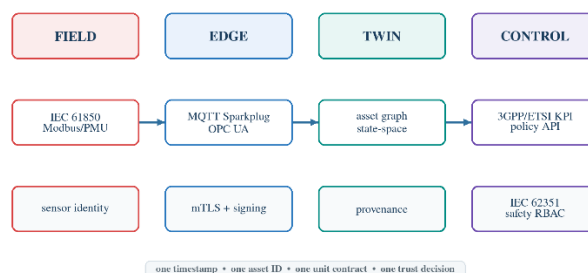
Obyekt/ o'zgaruvchi	Birlik	Namun a olish	Roli
V, I, P, Q, f	V/A/W/ VAR/Hz	1 s	elektr holati
Akkumulyat or SOC/SOH	%	5 s / 60 s	zaxira va qarish
Irradiatsiya / shamol	W/m ² / m/s	10 s / 5 s	qayta tiklanuvchi kirish
Yoqilg'i sathi	%	30 s	dizel zaxirasi
Harorat/nam lik	°C / %	10 s	issiqlik/ob-havo konteksti
BTS trafiki	Erlang yoki Mbps	5 s	telekommunikats iya talabi drayveri

$$q_{i,t} = F_{i,t} \cdot C_{i,t} \cdot V_{i,t} \cdot \exp(-\lambda_i \Delta t) \cdot (1 - o_{i,t}) \quad (2)$$

(2)-tenglama yangilik darajasi F , to'liqlik C , yaroqlilik V , kechikish jarimasi va chet qiymat ehtimoli o ni birlashtiradi. Sifat balli manbaga xos bo'ladi: bir soniya himoya toki uchun muhim bo'lishi mumkin, biroq akkumulyator SOH uchun ahamiyatsiz bo'lishi mumkin. Past sifatli ma'lumotlar yashirin ravishda to'ldirilmaydi; hodisa imputatsiya belgisi bilan birga uzatiladi va Digital Twin o'z noaniqlik intervalini kengaytiradi.

Semantik va protokol darajasidagi o'zaro ishlash:

Dala o'lchovlari kanonik aktiv IDlari, SI birliklari, faza/kanal identifikatorlari, hodisa vaqti, sifat va muhandislik chegaralariga moslashtiriladi. IEC 61850 mantiqiy tugunlari elektr funksiyalarini tavsiflashi mumkin; MQTT Sparkplug yoki OPC UA edge-hodisalarini uzatishi mumkin; 3GPP/ETSI KPI ko'rsatkichlari energiya iste'molini telekommunikatsiya samaradorligi bilan moslashtiradi. Protokol tanlovi xavfsizlik siyosatini bekor qilmaydi: har bir buyruq identifikatsiya, yaxlitlik, avtorizatsiya, dolzarblik va fizik bajariluvchanlik tekshiruvlaridan o'tishi shart.



3-rasm. Protokol va ishonch chegaralari bilan dala, edge, Digital Twin va boshqaruv tekisliklari

3-jadval

Texnologiyalar mas'uliyati va aniq chegaralari

Komponent	Mas'ul vazifa	Aniq mas'ul bo'lmagan vazifa
IEC 61850	elektr axboroti /almashinuvi	prognozlash algoritmi



MQTT Sparkplug / OPC UA	edge-hodisalar va semantika	xavfsizlik avtorizatsiyasi
3GPP/ETSI KPI	telekommunikatsiya energiya baholashi	obyekt himoyasi
Fuzzy qatlam	noaniq ish rejimlari	qat'iy cheklovni bekor qilish
GA	chegaralangan parametr qidiruvi	cheklanmagan online boshqaruv
LSTM + graf konteksti	vaqt/fazoviy prognoz	fizik bajariluvchanlik kafolati

Fizik jihatdan mos gibrid energiya holati: Digital Twin DC-shina balansini, konvertor yo'qotishlarini, akkumulyator SOC/SOH holatini, yoqilg'i zaxirasini, qayta tiklanuvchi energiyani cheklashni, tarmoqdan import/eksportni va BTS talabini saqlaydi. Yuklama modeli radio trafik va issiqlik bilan bog'liq qo'shimcha sarfni ham o'z ichiga oladi. Holat yangilanishi faqat uning qoldiq xatosi sensor noaniqligiga mos bo'lsa qabul qilinadi; aks holda hodisa karantinga olinadi, qayta vaznlanadi yoki sensor diagnostikasini ishga tushirish uchun foydalaniladi.

$$rP(t) = PPV + PW + PG + PD + PB - PBTS - Ploss, Lphys = \|rP\|_1 + \mu \cdot Pviol(SOC) \quad (3)$$

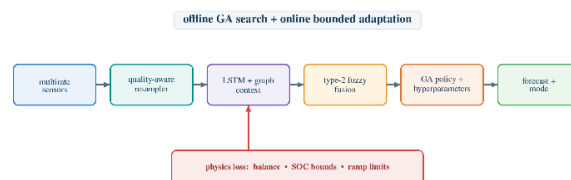
(3)-tenglama oniy quvvat balansi qoldig'ini va SOC buzilishlarini ham qamrab oluvchi fizik yo'qotish funksiyasini belgilaydi. Konvertor samaradorligi, akkumulyatorning ishora qoidasi va hisoblagich joylashuvi aniq kodlanadi. Bu modelning statistik jihatdan qulay, ammo energiyani "yaratib yuboradigan" yoki akkumulyatorni ruxsat etilgan chegaradan chiqaradigan trayektoriyani o'rganishiga yo'l qo'yilmaydi.

Turli chastotadagi hodisalarini vaqt bo'yicha moslashtirish. Kuchlanish, tok, aktiv/reaktiv quvvat va chastota har soniyada; SOC, shamol va trafik har 5 soniyada; irradiatsiya, harorat va namlik har 10 soniyada; yoqilg'i har 30 soniyada; SOH esa har 60 soniyada kelib tushadi. Edge darajasi sababiy qayta namunalash, chegaralangan interpolatsiya va yetishmayotgan qiymatlar maskalaridan foydalanadi. Hech bir kelajak namunasi avvalgi prognoz o'ynasiga sizib kirishiga yo'l qo'yilmaydi.

PI-FUZZY-GA-LSTM adaptiv algoritmi: Prognozlash yadrosi so'nggi o'lchovlar, sifat maskalari, taqvim/ob-havo konteksti, trafik yuklamasi va grafdagi qo'shni obyektlar xususiyatlarini qabul qiladi. LSTM vaqt bo'yicha bog'liqliklarni kodlaydi, yengil graf agregatsiyasi esa yaqin joylashgan stansiyalar o'rtasidagi umumiy fider yoki ob-havo ta'sirlarini hisobga oladi. Chiqish bir nechta prognoz gorizontalari uchun qayta tiklanuvchi generatsiya, BTS talabi, SOC trayektoriyasi va nosozlik xavfi belgilarini o'z ichiga oladi.

$$\hat{y}_{t+h} = f\theta(H_t, M_t, G_t), \theta^* = \operatorname{argmin}_{\theta} [Lpred + \alpha Lphys + \beta Lcal + \gamma Ldrift] \quad (4)$$

(4)-tenglama prognoz xatoligi, fizik jarima, interval kalibrlash yo'qotishi va drift regularizatsiyasini birlashtiradi. Og'irliklar test to'plamida emas, validatsiya ssenariylarida tanlanadi. Neyron prognozlovchi uchun yetarli dalil bo'lmagan hollarda arxitektura soddaroq holat-fazo yoki persistence modeliga qaytishi mumkin.



4-rasm. Graf konteksti va chegaralangan moslashuvga ega fizik qonuniyatlarga asoslangan Fuzzy-GA-LSTM konveyeri blok sxemasi



5-rasm. Offline optimallashtirish va online adaptiv inferensiya algoritmi

Interval type-2 fuzzy ish rejimlari: Kirish shartlari qayta tiklanuvchi energiya zaxirasi, SOC, trafik intensivligi, uzilish ehtimoli, yoqilg'i zaxirasi, prognoz intervali kengligi va sensor sifatini o'z ichiga oladi. Interval type-2 to'plamlar a'zolik chegaralaridagi noaniqlikni ifodalaydi. Qoidalar eco, balanced, resilient, maintenance va emergency rejimlarining kuchini hosil qiladi. Qoidalar faollashuvi qattiq xavfsizlik cheklovlari tekshirilgandan keyingina normallashtiriladi va defuzzifikatsiya qilinadi.

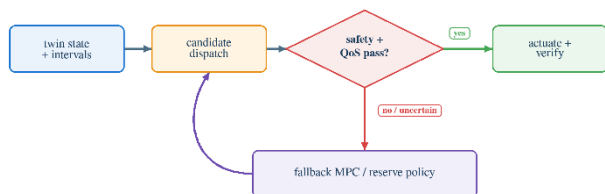
Genetik optimallashtirish va ortiqcha moslashuvni nazorat qilish. GA xromosomasi a'zolik funksiyalari sinish nuqtalari, tanlangan qoidalar og'irliklari, LSTM kengligi, retrospektiv oyna, dropout va fizik/kalibrlash og'irliklarini kodlaydi. Bajariluvchanlikni tiklash mexanizmi a'zolik nuqtalarining tartibini va parametrlar chegaralarini saqlaydi. Moslik funksiyasi bloklangan vaqt qatorlari validatsiyasidan foydalanadi hamda ob-havo, trafik va uzilish rejimlari bo'yicha dispersiyani jarimaga tortadi. Ixcham xromosoma va erta to'xtatish shovqinni optimallashtirish xavfini kamaytiradi.

Xavfsiz dispatcherlik va Digital Twin boshqaruvi. Model manbalar ulushi va zaxira harakatlarini taklif qiladi, biroq tavsianing ijro qilinishi mumkinligini xavfsizlik filtri hal qiladi. U akkumulyator toki/SOC, dizel generatorning minimal yoqilgan /o'chirilgan vaqti, konvertor quvvati, elektr tarmog'i chegaralari, qayta tiklanuvchi quvvat rampasi, BTS zaxira avtonomligi, trafik-QoS xavfi, aloqa dolzarbligi va avtorizatsiyani tekshiradi. Rad etilgan harakatlar tekshirilgan zaxira siyosati bilan almashtiriladi.

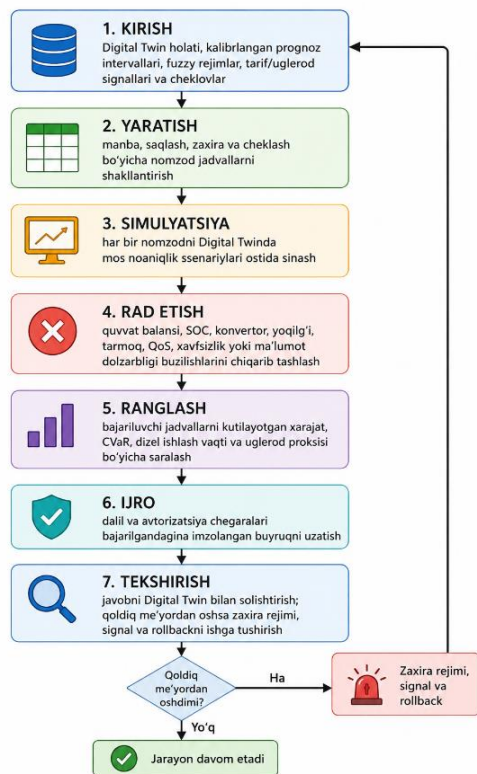
$$u^* = \operatorname{argmin}_u E[J(u, \omega)] + \beta \cdot CVaR_{\alpha}[J(u, \omega)] + \gamma CO_2(u), u \in U_{safe} \quad (5)$$

(5)-tenglama xavfsiz bajariluvchi to'plam doirasida kutilayotgan ekspluatatsion xarajati, yuqori dumli ishonchlilik xavfi va uglerod proksisini muvozanatlashtiradi. Optimallashtiruvchi bitta cheklanmagan minimum o'rniga Pareto egri chizig'idagi "tizza" nuqtani tanlashi mumkin. Siyosat og'irliklari natija bilan birga saqlanadi, shuning uchun operatorlar muhandislik cheklovi va iqtisodiy afzallikni farqlay oladi.





6-rasm. Fail-closed xavfsizlik va telekommunikatsiya QoS filtri bilan yopiq konturli dispatcherlik blok-sxeması



7-rasm. Xavfni hisobga oluvchi dispatcherlik va tekshirilgan ijro algoritmi

Baholash mezonlari: Baholashda qayta tiklanuvchi quvvat MAPE, BTS yuklamasi MAE, SOC RMSE, nominal va empirik interval qamrovi, ta'minlanmagan energiya, dizel ishlash vaqti, qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanish hamda xavfsizlik buzilishlari soni keltiriladi. Prognozlash metrikalari dispatcherlik metrikalaridan alohida hisoblanadi. Barcha usullar bir xil xronologik foldlar, sensor nosozliklari, ob-havo rejimlari, trafik sakrashlari va uzilish jadvalarini oladi.

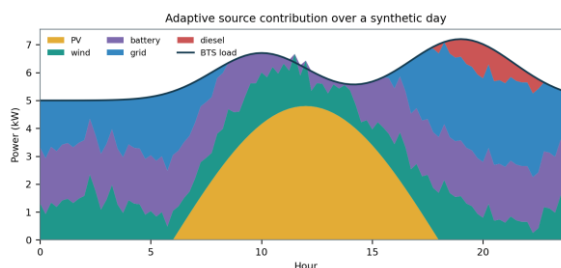
To'rtta konfiguratsiya taqqoslanadi: qoidalarga asoslangan EMS, an'anaviy type-1 fuzzy EMS, fizik/kalibrlashsiz GA-LSTM va PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT. Ushbu ketma-ketlik adaptiv vaqt qatorlarini o'rganish, sozlangan fuzzy birlashtirish, fizik regularizatsiya, kalibrlangan intervallar, graf konteksti va xavfsizlik filtrining ta'sirini alohida baholash imkonini beradi.

Takrorlanuvchanlik protokoli: 20260810 seed qiymati 12 ta bazaviy stansiya, 90 kunlik ko'p chastotali telemetriya, uchta ob-havo rejimi, beshta trafik rejimi, 36 ta elektr tarmog'i uzilishi, sensor og'ishi/ma'lumot yo'qolishi portlashlari va akkumulyator qarish driftini hosil qiladi. Konfiguratsiya fayllarida namuna olish, topologiya,

o'qitish/kalibrlash/test chegaralari, GA populyatsiyasi, tasodifiy urug'lar, model xeshlari va metrika ta'riflari saqlanadi. Haqiqiy abonent yoki operator ma'lumotlaridan foydalanilmaydi.

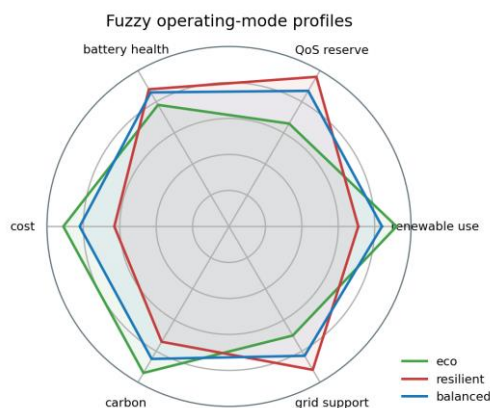
3. Natijalar va muhokamalar

Birinchı tajriba qayta tiklanuvchi generatsiya, akkumulyator yordami, tarmoq importi, dizel zaxirasi va BTS talabi o'rtasidagi o'zaro ta'sirni ko'rsatadi. Boshqaruvchi kechki trafik cho'qqisidan oldin akkumulyator zaxirasini saqlagan holda qayta tiklanuvchi energiyaga ustuvorlik beradi. Dizel generatori doimiy ravishda "arzon" manba sifatida optimallashtirilmaydi, balki ishonchlik resursi bo'lib qoladi.



8-rasm. Sintetik 24 soatlik BTS siklida beshta energiya manbasining adaptiv hissasi grafigi

Manbalar oqimi grafigi bir xil talab prognoz noaniqligi va zaxira siyosatiga qarab turli energiya aralashmalari bilan qoplanishi mumkinligini ko'rsatadi. Boshqaruvchi yuqori xavfli vaqt oralig'idan oldin akkumulyatorni zaryadlaydi yoki uning zaxirasini saqlaydi; bu monitoring va dispatcherlik bir xil sinxronlashtirilgan Digital Twin holatidan foydalanishi zarurligini ko'rsatadi.

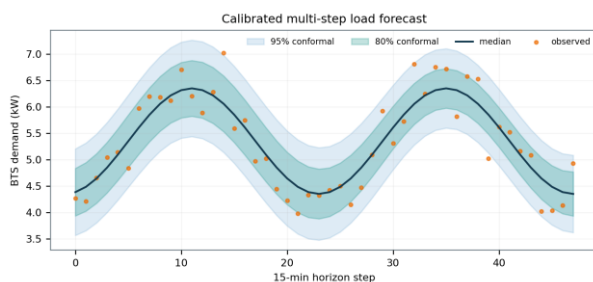


9-rasm. Eco, resilient va balanced fuzzy ish rejimlarining radar taqqoslanishi grafigi

Fuzzy rejimlar o'zaro istisno qiluvchi qat'iy yorliqlar emas; ular siyosiy ustuvorliklarni darajali tarzda ifodalaydi [20]. Eco rejimi qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanish va uglerodni kamaytirishga urg'u beradi, resilient rejim QoS zaxirasi va elektr tarmog'i yordamini kuchaytiradi, balanced rejim esa keskin muvozanatsiz kompromisslardan qochadi. Qattiq cheklovlar fuzzy ballidan tashqarida qoladi.

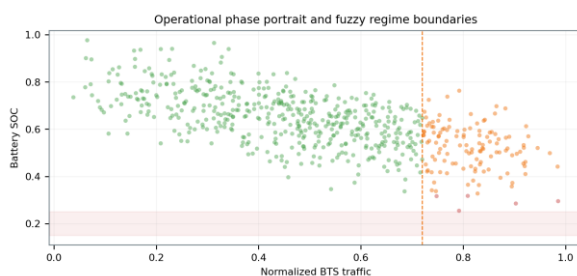
Kalibrlangan ko'p bosqichli prognozlash. Trafik va qayta tiklanuvchi energiya tez o'zgaradigan davrlarda prognoz noaniqligi kengayadi. Konformal fan-grafik median

prognozni 80% va 95% kalibrlangan diapazonlardan ajratib ko'rsatadi [21]. Operatsion qarorlar median qiymatni aniq deb qabul qilish o'rniga, cheklovga mos yuqori yoki quyi chegaradan foydalanadi.



10-rasm. BTS talabini 48 bosqichga prognozlash uchun split-conformal fan-grafigi

Taklif etilgan model sintetik test davrida nominal 95% interval uchun 94,6% empirik qamrovni qayd etdi. Rejim o'zgarishlarida interval kengayadi, bu noaniqlikni halol aks ettirish uchun qabul qilinadigan "narx" hisoblanadi. Dala sharoitida joriy etishdan oldin qamrov mavsum va trafik sinfi bo'yicha qayta tekshirilishi kerak.



11-rasm. O'rganilgan fuzzy rejim chegaralari bilan SOC-trafik faza portreti grafigi

Quyida o'rta boshqaruv konfiguratsiyasi uchun sintetik prognozlash va dispetcherlik metrikalari umumiy miqdoriy taqqoslash jadvali keltirilgan.

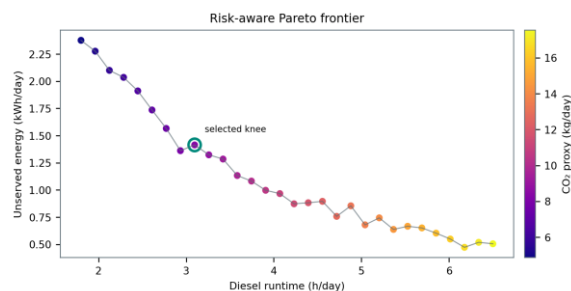
4-jadval

To'rtta boshqaruv konfiguratsiyasi uchun sintetik prognozlash va dispetcherlik metrikalari

Boshqaruvchi	Yuklama MAE, kW	Qayta tiklanuvchi MAPE %	SOC RMSE, %	Ta'minlanmagan, kWh/kun
Qoidalarga asoslangan EMS	1.92	14.8	5.7	3.8
Type-1 fuzzy EMS	1.47	11.2	4.4	2.9
GA-LSTM	0.96	7.5	3.1	1.7
PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT	0.61	4.9	1.9	0.8

PI-Fuzzy-GA-LSTM-DT BTS yuklamasi uchun 0,61 kW MAE, qayta tiklanuvchi quvvat uchun 4,9% MAPE, SOC uchun 1,9% RMSE, kuniga 0,8 kWh ta'minlanmagan energiya va kuniga 2,8 soat dizel ishlash vaqtiga erishdi. Qoidalarga asoslangan bazaviy usul ancha tushunarli, biroq trafik va ob-havoning bog'langan o'zgarishlariga sust javob

beradi. GA-LSTM prognozni yaxshilaydi, ammo quvvat balansi va SOC jarimalarisiz fizik jihatdan nomuvofiq trayektoriyalar hosil qiladi.

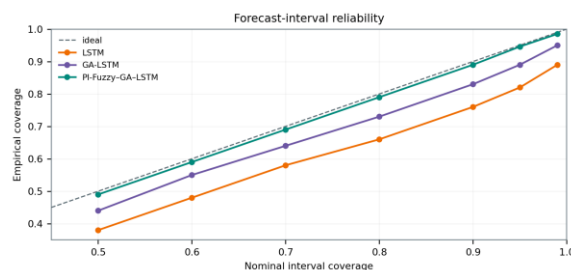


12-rasm. Dizel ishlash vaqti, ta'minlanmagan energiya va uglerod proksisi o'rtasidagi Pareto chegarasi grafigi

Pareto grafigi faqat dizel ishlash vaqtini minimallashtirish ta'minlanmagan energiyani oshirishini ko'rsatadi [22]. Tanlangan "tizza" nuqta universal optimal emas; u e'lon qilingan xavf va uglerod og'irliklarini aks ettiradi. Pareto chegarasini ko'rsatish operatorlarga yashirin skalyar maqsadni qabul qilish o'rniga kompromissni ko'rib chiqish imkonini beradi.

Tushuntiriluvchanlik va audit dalillari: Har bir tavsiya sensor sifati, aktiv holati surati, fuzzy a'zoliklar, faol qoidalar, GA xromosoma versiyasi, LSTM/model xeshi, graf qo'shnichiligi, fizik qoldiq, konformal kvantil, maqsad funksiyasi tarkibi, rad etilgan cheklovlar, imzolangan buyruq, o'lchangan javob va rollback natijasini saqlaydi [23]. Bu xususiyatlar ahamiyatidan tashqari jarayon tushuntiriluvchanligini ham ta'minlaydi.

Kalibrash, ablyatsiya va barqarorlik: Ablyatsiya tahlilida mexanizmlar bittadan olib tashlanadi. Fizik yo'qotishni olib tashlash oson davrlarda nuqtaviy xatolikni biroz kamaytiradi, biroq SOC va quvvat balansi buzilishlarini oshiradi. Konformal kalibrashsiz intervallar tor va yetarli qamrov bermaydi. Graf kontekstini olib tashlash bog'langan ob-havo/uzilish prognozini yomonlashtiradi; xavfsizlik filtrini olib tashlash esa prognoz xatolarini buyruq buzilishlariga aylantiradi.



13-rasm. LSTM, GA-LSTM va kalibrlangan taklif etilgan model uchun ishonchlilik diagrammasi grafigi

5-jadval

Sintetik benchmarkda ablyatsiya va stress-test ta'sirlari

Variant	95% qamrov, %	Balans buzilishi /kun	Dizel soat /kun	Xavfsizlik bloklari /kun
To'liq model	94.6	0.0	2.8	0.7
– fizik yo'qotish	91.8	3.4	2.6	3.9



– konformal kalibrlash	78.2	0.1	2.7	1.8
– graf konteksti	90.5	0.2	3.3	1.2
– xavfsizlik filtri	93.9	2.7	2.5	0.0

To'liq model belgilangan sinov stendida prognozlash, kalibrlash va xavfsizlikning eng yaxshi birgalikdagi profilini ko'rsatadi. Natijalar qo'shilgan murakkablik har doim ham o'zini oqlaydi degani emas. Ma'lumoti cheklangan kichik obyekt kalibrlangan holat-fazo bazaviy modelini ayni xavfsizlik filtri va axborot shartnomalari bilan birgalikda oqilona qo'llashi mumkin.

4. Xulosa

Ushbu maqolada gibril energiya bilan ta'minlanadigan telekommunikatsiya bazaviy stansiyalarini monitoring qilish uchun ko'p sathli energiya–axborot modeli va PI-Fuzzy–GA–LSTM–DT adaptiv algoritmi ishlab chiqildi. Arxitektura Smart Grid o'zaro ishlashini, ko'p chastotali edge-sensorlashni, aktiv semantikasini, fizik qonuniyatlarga asoslangan prognozlashni, interval type-2 fuzzy rejimlarni, GA sozlashni, graf kontekstini, konformal noaniqlikni, Digital Twinni va fail-closed xavfsiz dispetcherlikni birlashtiradi. Sintetik tajribalar belgilangan farazlar ostida prognozlash aniqligi, qamrov kalibrlanishi, qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanishning yaxshilanishi hamda ta'minlanmagan energiya va dizel ishlash vaqtining kamayishini ko'rsatadi. Keyingi ilmiy bosqich kuzatilgan trafik, ob-havo, akkumulyator qarishi, kiberxavfsizlik sinovlari va oldindan belgilangan baholash mezonlari bilan bosqichma-bosqich hardware-in-the-loop hamda operator pilot sinovlarini o'tkazishdan iborat.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Osifeko, M., Munda, J.L. AI-Based Forecasting in Renewable-Rich Microgrids: Challenges and Comparative Insights. *IEEE Access*. 2025, 13, 130446–130474. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3591091>
- [2] Djumanov, J., Yakhshibaev, R., Khushvaktov, S., Sayfullaeva, N. Mathematical Model and Software Package for Calculating the Balance of Information Flow. 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 2021, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670277>
- [3] Wang, F., Zhai, Z., Zhao, Z., Di, Y., Chen, X. Physics-Informed Neural Network for Lithium-Ion Battery Degradation Stable Modeling and Prognosis. *Nature Communications*. 2024, 15, 4332. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48779-z>
- [4] Angelopoulos, A.N., Bates, S. A Gentle Introduction to Conformal Prediction and Distribution-Free Uncertainty Quantification. *arXiv preprint arXiv:2107.07511*. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.07511>
- [5] Glaessgen, E.H., Stargel, D.S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles.

53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012, 1–14. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>

[6] I. K. Siddikov, M. A. Anarbaev, A. A. Abdumalikov, M. A. Sobirov, M. T. Maxsudov and I. M. Xonturaev, "Technological aspects of modelling and research of smart grid," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011936.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9011936>

[7] M. X. Cheng, Y. Li, and D.-Z. Du, "Combinatorial Optimization in Communication Networks," Springer, 2006, 685 p.

[8] Borisov, V.V., Kruglov, V.V., Fedulov, A.S. *Fuzzy Models and Networks*. Moscow, Russia: Hotline-Telecom, 2007, 284 p.

[9] Sobirov, M., Kurbanova, I., Sobirova, Z. *Fuzzy Network Analysis for Neuron Viability in Production Models*. AIP Conference Proceedings. 2026, 3374, 050096. <https://doi.org/10.1063/5.0317178>

[10] National Institute of Standards and Technology. NIST Smart Grid Interoperability Framework 4.0. NIST Smart Grid Group. <https://www.nist.gov/ctl/smart-connected-systems-division/smart-grid-group>

[11] Djumanov, J., Egamberdiev, K., Murodullaev, B., Haqnazarova, D. Numerical Calculation of Groundwater Geofiltration Processes in Multilayer Porous Media. 2024, 27–30. <https://doi.org/10.61587/3030-3141-2024-1-2-27-30>

[12] Hochreiter, S., Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*. 1997, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>

[13] Pollo, G., Burrello, A., Macii, E., Poncino, M., Vinco, S., Pagliari, D.J. Coupling Neural Networks and Physics Equations For Li-Ion Battery State-of-Charge Prediction. Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE). 2025, 1–7. <https://doi.org/10.23919/DATE64628.2025.10993233>

[14] Angelopoulos, A.N., Bates, S. A Gentle Introduction to Conformal Prediction and Distribution-Free Uncertainty Quantification. *arXiv preprint arXiv:2107.07511*. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.07511>

[15] Raissi, M., Perdikaris, P., Karniadakis, G.E. Physics-Informed Neural Networks: A Deep Learning Framework for Solving Forward and Inverse Problems Involving Nonlinear Partial Differential Equations. *Journal of Computational Physics*. 2019, 378, 686–707. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045>

[16] Ahn, H., Shen, H., Zhou, X., Kung, Y.-C., Wang, J. State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries Using Physics-Informed Transformer for Limited Data Scenarios. *ASME Letters in Dynamic Systems and Control*. 2023, 3(4), 041002. <https://doi.org/10.1115/1.4063995>

[17] Kipf, T.N., Welling, M. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. 2017. <https://arxiv.org/abs/1609.02907>

[18] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002, 6(2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>

[19] Mendel, J.M. *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions*. Cham,



Switzerland: Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51370-6>

[20] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets. Information and Control. 1965, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

[21] Suresh, V., Revathi, B.S., Guerrero, J.M. A Non-Parametric Adaptive Conformal Inference Based Probabilistic Hour-Ahead Solar PV Power Forecasting Method. Scientific Reports. 2026, 16, 11730. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-40911-x>

[22] Saif, A., Gad Elrab, K., Zeineldin, H.H., Kennedy, S., Kirtley, J.L. Multi-Objective Capacity Planning of a PV-Wind-Diesel-Battery Hybrid Power System. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. 2011. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039825>

[23] Ojewale, V., Suresh, H., Venkatasubramanian, S. Audit Trails for Accountability in Large Language Models. 2026. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.20727>.

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

Djumanov
Jamoljon
Xudaykulovich
/ Jamoljon
Djumanov

Muhammad al-Xorazmiy
nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti
“Kompyuter tizimlari” kafedras
professori
E-mail: jamoljon@tuit.uz
Tel.: +998933846363
<https://orcid.org/0000-0001-6043-2495>

Sobirov
Muzaffar
Azatovich /
Muzaffar
Sobirov

Toshkent davlat transport
universiteti “Transportda
axborot tizimlari va
texnologiyalari” kafedras
mustaqil tadqiqotchisi
E-mail:
muzaffarsobirov538@gmail.com
Tel.: +998909314809
<https://orcid.org/0009-0000-4719-9481>



Comprehensive assessment of the operational performance indicators of motor vehicles considering seasonal operating conditions

T.Sh. Muminov¹, D.A. Dolieva²

¹Tashkent state transport universiteti, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article develops a methodological approach to assessing changes in the efficiency of motor vehicle utilization under the influence of seasonal conditions. The study systematizes the external and internal factors affecting the operational performance of motor vehicles and classifies the main operational indicators into three groups according to their functional characteristics: transportation efficiency, traffic efficiency, and indicators characterizing the level of vehicle utilization. Based on available technical and operational data for 2022–2023, relative change indices of the indicators were determined, and a comprehensive operational change index was calculated. The results demonstrated that, alongside an increase in the number of passengers transported and passenger-kilometres performed, a decline was observed in certain indicators of vehicle utilization. The proposed approach enables a comprehensive assessment of the impact of seasonal operating conditions on vehicle performance and provides a basis for statistically determining this impact in future studies using meteorological and operational data.

Keywords:

motor vehicle, seasonal conditions, operational performance indicator, transportation efficiency, operating speed, productivity, vehicle utilization, composite index

Avtotransport vositalarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini mavsumiy foydalanish sharoitlarini hisobga olgan holda kompleks baholash

Mo'minov T.Sh.¹, Doliyeva D.A.²

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada avtotransport vositalaridan foydalanish samaradorligining mavsumiy sharoitlar ta'sirida o'zgarishini baholashning metodologik yondashuvi ishlab chiqilgan. Tadqiqotda avtotransport vositalarining ekspluatatsion faoliyatiga ta'sir etuvchi tashqi va ichki omillar tizimlashtirildi hamda asosiy ekspluatatsion ko'rsatkichlar funksional xususiyatlariga ko'ra uch guruhga ajratildi: tashish samaradorligi, harakat samaradorligi va transport vositasidan foydalanish darajasini ifodalovchi ko'rsatkichlar. 2022–2023-yillar bo'yicha mavjud texnik-ekspluatatsion ma'lumotlar asosida ko'rsatkichlarning nisbiy o'zgarish indeksleri aniqlandi va kompleks ekspluatatsion o'zgarish indeksi hisoblandi. Natijalar tashilgan yo'lovchilar soni va yo'lovchi-kilometr ishining ortishi bilan bir qatorda, transport vositalaridan foydalanishning ayrim ko'rsatkichlarida pasayish mavjudligini ko'rsatdi. Taklif etilgan yondashuv mavsumiy foydalanish sharoitlarining transport vositalari ishiga ta'sirini kompleks baholash hamda kelgusida meteorologik va ekspluatatsion ma'lumotlar asosida ushbu ta'sirni statistik jihatdan aniqlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar:

avtotransport vositasi, mavsumiy sharoit, ekspluatatsion ko'rsatkich, tashish samaradorligi, ekspluatatsion tezlik, ish unumdorligi, transport vositasidan foydalanish, kompleks indeks

1. Kirish

Avtotransport vositalarining samarali ishlashi tashish hajmi bilan bir qatorda transport vositasining texnik holati, harakatlanish sharoiti, yo'l sharoiti, ob-havo omillari va transport vositasidan foydalanish darajasiga ham bog'liq. Ayniqsa, yil davomida havo harorati, yog'ingarchilik, qor va muzlama, yo'l qoplamasining holati, shamol va ko'rinish masofasining o'zgarishi transport vositalarining

ekspluatatsion faoliyatiga turlicha ta'sir ko'rsatishi mumkin [1.2].

Mavsumiy sharoitlarning o'zgarishi natijasida transport vositasining ekspluatatsion tezligi, bosib o'tiladigan masofa, liniyadagi ish vaqti, yo'nalishga chiqish darajasi, yoqilg'i sarfi va ish unumdorligida o'zgarishlar yuzaga kelishi mumkin. Bunday sharoitlarda transport vositalarining faqat tashish hajmi bo'yicha baholanishi ularning real ekspluatatsion samaradorligini to'liq ifodalamaydi. Shu nuqtai nazardan, mavsumiy foydalanish sharoitlarining

^a <https://orcid.org/0009-0006-3167-3808>

^b <https://orcid.org/0009-0005-8527-4100>



ta'sirini baholashda transport vositasining tashish samaradorligi, harakat samaradorligi va undan foydalanish darajasini ifodalovchi ko'rsatkichlarni birgalikda tahlil qilish muhim hisoblanadi [3].

Amaldagi yondashuvlarda alohida ekspluatatsion ko'rsatkichlarning o'zgarishini baholashga katta e'tibor qaratiladi. Biroq bir ko'rsatkichning yaxshilanishi boshqa ko'rsatkichning pasayishi bilan bir vaqtda sodir bo'lishi mumkin. Masalan, tashilgan yo'lovchilar sonining ortishi transport vositalaridan foydalanish koeffitsiyenti yoki ishga chiqish darajasi ham oshganligini anglatmaydi. Shu sababli ekspluatatsion faoliyatni kompleks baholashga asoslangan metodologik yondashuvga ehtiyoj mavjud [4].

Mazkur tadqiqotning maqsadi avtotransport vositalarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini mavsumiy foydalanish sharoitlarini hisobga olgan holda kompleks baholash va ushbu baholash uchun metodologik yondashuv ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

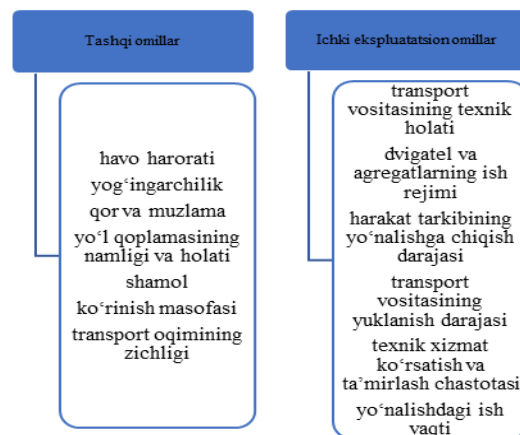
- avtotransport vositalari ekspluatatsiyasiga ta'sir etuvchi tashqi va ichki omillarni tizimlashtirish;
- ekspluatatsion ko'rsatkichlarni funksional guruhlariga ajratish;
- 2022–2023-yillar bo'yicha ekspluatatsion ko'rsatkichlar dinamikasini tahlil qilish;
- ko'rsatkichlarning nisbiy o'zgarish indekslarini aniqlash;
- funksional guruhlar bo'yicha kompleks indekslarini hisoblash;
- umumiy kompleks ekspluatatsion o'zgarish indeksini aniqlash;
- mavsumiy omillarning ta'sirini kelgusida statistik baholash imkonini beruvchi modelni shakllantirish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi ekspluatatsion ko'rsatkichlarni alohida emas, balki ularning funksional guruhlari va umumiy kompleks indeksi orqali baholashga asoslangan yondashuvni taklif etishdan iborat.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, taklif etilayotgan yondashuvdan avtotransport korxonalarida transport vositalaridan foydalanish samaradorligini baholash, mavsumiy sharoitlarga mos ekspluatatsiya rejimlarini shakllantirish va transport vositalarining ish unumdorligini oshirish bo'yicha boshqaruv qarorlarini ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

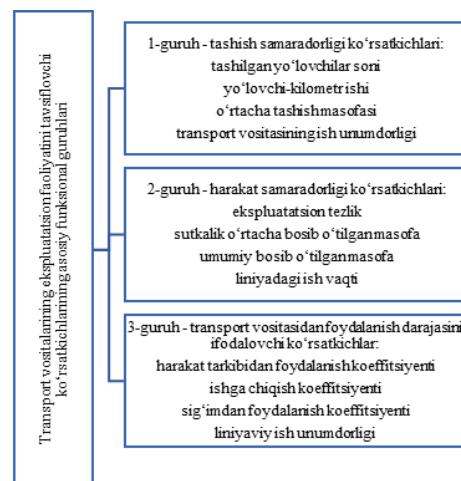
2. Tadqiqot metodologiyasi

Avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligi turli xil tashqi va ichki omillarning o'zaro ta'siri natijasida shakllanadi. Tadqiqotda ushbu omillar ikki asosiy guruhga ajratildi 1-rasm.



1-rasm. Avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligiga o'zaro ta'sir etuvchi omillar

Mazkur omillar transport vositasining harakatlanish sharoitiga, texnik va ekspluatatsion holatiga hamda yakuniy ish unumdorligiga ta'sir qiladi. Shu sababli mavsumiy foydalanish sharoitlarini baholashda tashqi omillarni bevosita, ichki omillarni esa transport vositasining ekspluatatsion holatini ifodalovchi ko'rsatkichlar orqali hisobga olish maqsadga muvofiq 2-rasm.



2-rasm. Avtotransport vositalarining ekspluatatsion faoliyatini tavsiflovchi ko'rsatkichlar

Avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligini baholashda alohida ko'rsatkichlarning o'zgarishini aniqlash bilan birga, ularning umumiy ta'sirini yagona baholash ko'rsatkichiga keltirish maqsadga muvofiq. Shu sababli tadqiqotda 2022 -yil bazaviy davr, 2023-yil esa taqqoslanayotgan davr sifatida qabul qilindi.

Har bir ekspluatatsion ko'rsatkichning bazaviy davrga nisbatan o'zgarishi nisbiy indeks orqali aniqlanadi [5.6]:

$$I_i = \frac{X_{i,2023}}{X_{i,2022}} \quad (1)$$

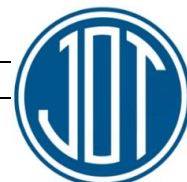
bu yerda:

I_i - i -ko'rsatkichning nisbiy o'zgarish indeksi;

$X_{i,2023}$ - i -ko'rsatkichning 2022-yildagi qiymati;

$X_{i,2022}$ - i -ko'rsatkichning 2023-yildagi qiymati.

Indeks qiymati $I_i > 1$ bo'lsa, ko'rsatkichning bazaviy davrga nisbatan oshganligini, $I_i < 1$ bo'lsa, kamayganligini, $I_i = 1$ bo'lsa, ko'rsatkich o'zgarmaganligini bildiradi.



Biroq ushbu indeksni talqin qilishda ko'rsatkichning ekspluatatsion samaradorlikka ta'sir yo'nalishini hisobga olish zarur. Mazkur tadqiqotda ko'rsatkichlarning yuqori qiymati ijobiy natijani ifodalovchi ko'rsatkichlar tanlab olindi. Agar kelgusida kamayishi ijobiy hisoblanadigan ko'rsatkichlar, masalan, yoqilg'i sarfi yoki bekor turish vaqti kiritilsa, ularni teskari nisbat orqali standartlashtirish lozim:

$$I_i = \frac{X_{i,2022}}{X_{i,2023}} \quad (2)$$

Shunday qilib, barcha standartlashtirilgan indekslarda $I_i > 1$ - **ijobiy o'zgarish**, $I_i < 1$ - **salbiy o'zgarish** tamoyili saqlanadi.

Funksional guruh indekslarini aniqlash

Har bir funksional guruhning umumiy holatini baholash uchun guruh tarkibidagi ko'rsatkichlarning o'rtacha nisbiy indeksi aniqlanadi:

$$K_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} I_i \quad (3)$$

bu yerda:

K_j - j -funktional guruhning kompleks indeksi;

n_j - j -guruhdagi ko'rsatkichlar soni;

I_i - guruh tarkibidagi tegishli ko'rsatkichning nisbiy indeksi.

Ushbu yondashuv asosida uchta asosiy kompleks indeks aniqlanadi:

$$K_T = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}{4} \quad (4)$$

bu yerda K_T - tashish samaradorligi indeksi

$$K_H = \frac{I_5 + I_6 + I_7 + I_8}{4} \quad (5)$$

bu yerda K_H - harakat samaradorligi indeksi

$$K_F = \frac{I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}}{4} \quad (6)$$

bu yerda K_F - transport vositasidan foydalanish darajasi indeksi

Mazkur hisoblashda har bir guruh tarkibidagi ko'rsatkichlar teng ahamiyatli deb qabul qilinadi. Bunday yondashuv dastlabki kompleks baholash uchun qo'llanadi va ko'rsatkichlar soni teng bo'lganligi sababli guruhlar o'rtasida hisoblashning izchilligini ta'minlaydi.

Avtotransport vositalarining umumiy ekspluatatsion holatini baholash uchun uchta funksional guruh indeksi yagona ko'rsatkichga birlashtiriladi:

$$K_E = \frac{K_T + K_H + K_F}{3} \quad (7)$$

bu yerda:

K_E - umumiy kompleks ekspluatatsion o'zgarish indeksi;

K_T - tashish samaradorligi indeksi;

K_H - harakat samaradorligi indeksi;

K_F - transport vositasidan foydalanish darajasi indeksi.

Umumiy indeksning o'zgarish darajasi foizlarda quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta K_E = (K_E - 1) \cdot 100\% \quad (8)$$

Ushbu ko'rsatkich transport vositalarining ekspluatatsion holatida bazaviy davrga nisbatan umumiy o'zgarish darajasini ifodalaydi.

Natijalarni baholash quyidagi mezon asosida amalga oshiriladi:

Kompleks indeks

Baholash

$K_E > 1$

ekspluatatsion samaradorlik oshgan

$K_E = 1$

sezilarli o'zgarish mavjud emas

$K_E < 1$

ekspluatatsion samaradorlik pasaygan

Mazkur metodikaning muhim jihati shundaki, u tashish hajmining oshishini avtomatik ravishda umumiy

ekspluatatsion samaradorlikning oshishi sifatida qabul qilmaydi. Aksincha, tashish, harakatlanish va transport vositasidan foydalanish ko'rsatkichlari birgalikda baholanadi.

Shu bilan birga, mazkur indeks mavsumiy ta'sirning bevosita miqdoriy koeffitsiyenti hisoblanmaydi. U 2022–2023-yillardagi ekspluatatsion o'zgarishlarni kompleks baholash uchun xizmat qiladi. Mavsumiy omillarning alohida ta'sirini aniqlash uchun ushbu metodikaga oylar kesimidagi havo harorati, yog'ingarchilik, yo'l sharoiti va boshqa meteorologik ma'lumotlarni qo'shish talab etiladi.

Mavsumiy foydalanish sharoitlarining avtotransport vositalari ekspluatatsion ko'rsatkichlariga ta'sirini aniqlash uchun tashqi va ichki omillar bilan ekspluatatsion natijalar o'rtasidagi bog'liqlikni baholash zarur. Bunda mavsumiy omillar alohida holda emas, balki ularning transport vositasining ish sharoitiga ta'siri orqali qaraladi.

Tadqiqotning metodologik ketma-ketligi quyidagi tartibda shakllantiriladi:

mavsumiy omillar → ekspluatatsion sharoit → ekspluatatsion ko'rsatkichlar → nisbiy indekslar → funksional guruh indekslari → kompleks ekspluatatsion indeks.

Mavsumiy sharoitlarning ta'sirini yanada chuqurroq baholash uchun ekspluatatsion ko'rsatkichlardan biri natijaviy ko'rsatkich sifatida qabul qilinib, unga ta'sir etuvchi asosiy omillar regressiya modeli orqali ifodalanishi mumkin:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot T_t + \beta_2 \cdot P_t + \beta_3 \cdot Q_t + \beta_4 \cdot W_t + \beta_5 \cdot R_t + \varepsilon_t \quad (9)$$

bu yerda:

Y_t - t -davrdagi ekspluatatsion ko'rsatkich;

T_t - havo harorati;

P_t - yog'ingarchilik miqdori;

Q_t - qor va muzlama sharoiti;

W_t - shamol tezligi;

R_t - yo'l qoplamasi va harakat sharoitini ifodalovchi ko'rsatkich;

β_0 - modelning erkin hadi;

$\beta_1, \dots, \beta_5$ - tegishli omillarning ta'sir koeffitsiyentlari;

ε_t - modelda hisobga olinmagan tasodifiy omillar.

Mazkur modelda Y sifatida ekspluatatsion tezlik, transport vositasining ish unumdorligi, sutkalik yurish yoki boshqa asosiy ekspluatatsion ko'rsatkichlardan biri tanlanishi mumkin.

Masalan, ekspluatatsion tezlikni natijaviy ko'rsatkich sifatida olganda, mavsumiy sharoitlarning transport vositasining harakatlanish tezligiga ta'siri baholanadi. Agar transport vositasining ish unumdorligi tanlansa, mavsumiy sharoitlarning tashish samaradorligiga ta'siri aniqlanadi.

Model koeffitsiyentlarining ishorasi omilning ta'sir yo'nalishini ko'rsatadi. Musbat β tegishli omilning ortishi natijaviy ko'rsatkichning oshishi bilan, manfiy β esa kamayishi bilan bog'liqligini bildiradi.

Bundan tashqari, mavsumiy sharoitlarni fasllar bo'yicha alohida baholash uchun mavsumiy indikatorlardan foydalanish mumkin. Bunda qish, bahor, yoz va kuz davrlari alohida guruhlariga ajratilib, bazaviy fasl bilan taqqoslanadi. Bunday yondashuv mavsumiy sharoitlarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarga ta'sirini boshqa omillardan ajratib baholash imkonini beradi.

Shu bilan birga, ushbu tadqiqotda mavjud ma'lumotlar yillik umumlashtirilgan ko'rsatkichlardan iborat bo'lganligi sababli regressiya modelining koeffitsiyentlari amaliy hisoblanmaydi. Mazkur model kelgusida oylar kesimidagi



meteorologik va ekspluatatsion ma'lumotlar shakllantirilgandan keyin qo'llanilishi uchun metodik asos sifatida taklif etiladi.

Shunday qilib, taklif etilayotgan yondashuv ikki bosqichni o'z ichiga oladi: birinchi bosqichda mavjud ekspluatatsion ma'lumotlar asosida kompleks o'zgarish indeksi aniqlanadi, ikkinchi bosqichda esa oylik meteorologik ma'lumotlar asosida mavsumiy omillarning ushbu o'zgarishga ta'siri statistik jihatdan baholanadi.

3. Natija va muhokamalar

Taklif etilgan metodik yondashuvni amaliy ma'lumotlar asosida tekshirish uchun 2022–2023-yillarda shahar yo'lovchi transporti bo'yicha shakllangan texnik-ekspluatatsion ko'rsatkichlardan foydalanildi. 2022-yil bazaviy davr, 2023-yil esa taqqoslash davri sifatida qabul qilindi.

Tahlil uchun transport vositalari soni, ularning sig'imi, tashilgan yo'lovchilar soni, yo'lovchi-kilometr ishi, ekspluatatsion tezlik, harakat tarkibidan foydalanish va ishga chiqish koeffitsiyentlari, sig'imdan foydalanish darajasi, bosib o'tilgan masofa hamda ish unumdorligi kabi ko'rsatkichlar tanlandi 1-jadval.

1-jadval

Avtotransport vositalarining asosiy texnik-ekspluatatsion ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	2022-yil	2023-yil	O'zgarish, %
Avtobuslar soni	1169,3	1237,4	+5,8
O'rtacha sig'im	21,10	21,96	+4,1
Umumiy sig'im	24675	27179	+10,1
Tashilgan yo'lovchilar, ming nafar	138209,1	144967,2	+4,9
Yo'lovchi-kilometr, ming yo'lovchi-km	855346,7	899362,1	+5,1
Ekspluatatsion tezlik, km/soat	21,5	21,3	-0,9
Harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti	0,768	0,694	-9,6
Ishga chiqish koeffitsiyenti	0,708	0,633	-10,6
Sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti	0,535	0,581	+8,6
Sutkalik o'rtacha yurish, km	267,8	266,0	-0,7
Umumiy yurish, ming km	80912,2	76081,2	-6,0
1 transport vositasining ish unumdorligi, yo'lovchi	4193,9	3982,6	-5,0

1 km ga to'g'ri keladigan ish unumdorligi, yo'lovchi-km	34665	33090	-4,5
---	-------	-------	------

Manba: taqdim etilgan texnik-ekspluatatsion ma'lumotlar asosida muallif hisob-kitobi.

Jadvaldan ko'rinadiki, 2023-yilda avtobuslar soni 5,8 % ga, o'rtacha sig'im 4,1 % ga, umumiy sig'im esa 10,1 % ga oshgan. Natijada tashilgan yo'lovchilar soni 4,9 % ga, yo'lovchi-kilometr ishi esa 5,1 % ga ko'paygan.

Biroq barcha ko'rsatkichlarda ijobiy dinamika kuzatilmagan. Xususan, ekspluatatsion tezlik 0,9 % ga, harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti 9,6 % ga, ishga chiqish koeffitsiyenti esa 10,6 % ga kamaygan. Umumiy yurishning 6,0 % ga kamayishi va bir transport vositasining ish unumdorligining 5,0 % ga pasayishi ham transport vositalaridan foydalanish samaradorligida muayyan salbiy o'zgarish mavjudligini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti 0,535 dan 0,581 gacha, ya'ni 8,6 % ga oshgan. Bu tashish talabining mavjud transport sig'imidan foydalanish darajasiga ijobiy ta'sir ko'rsatganligini ko'rsatadi.

Demak, 2022–2023-yillardagi ma'lumotlar transport tizimida tashish hajmi oshishi bilan bir vaqtda transport vositalaridan foydalanishning ayrim ekspluatatsion ko'rsatkichlari pasayganini ko'rsatmoqda. Aynan shu qarama-qarshi o'zgarishlar ekspluatatsion samaradorlikni bitta ko'rsatkich bilan emas, balki kompleks baholash zarurligini asoslaydi.

Avtotransport vositalarining ekspluatatsion holatidagi o'zgarishlarni o'zaro taqqoslash imkonini berish uchun 2022-yil bazaviy davr sifatida qabul qilinib, 2023-yil ko'rsatkichlarining nisbiy o'zgarish indekslari aniqlandi. Hisoblash (1)-formula asosida amalga oshirildi:

Natijada har bir ko'rsatkichning 2022-yilga nisbatan o'zgarish darajasi yagona o'lchovga keltirildi 2-jadval.

2-jadval

Ekspluatatsion ko'rsatkichlarning nisbiy o'zgarish indekslari

№	Ko'rsatkich	2022-yil	2023-yil	Nisbiy indeks
1	Avtobuslar soni	1169,3	1237,4	1,058
2	O'rtacha sig'im	21,10	21,96	1,041
3	Umumiy sig'im	24675	27179	1,101
4	Tashilgan yo'lovchilar, ming nafar	138209,1	144967,2	1,049
5	Yo'lovchi-kilometr, ming yo'lovchi-km	855346,7	899362,1	1,051
6	Ekspluatatsion tezlik, km/soat	21,5	21,3	0,991
7	Harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti	0,768	0,694	0,904
8	Ishga chiqish koeffitsiyenti	0,708	0,633	0,894



9	Sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti	0,535	0,581	1,086
10	Sutkalik o'rtacha yurish, km	267,8	266,0	0,993
11	Umumiy yurish, ming km	80912,2	76081,2	0,940
12	1 transport vositasining ish unumdorligi, yo'lovchi	4193,9	3982,6	0,950
13	1 km ga to'g'ri keladigan ish unumdorligi, yo'lovchi-km	34665	33090	0,955

Manba: taqdim etilgan 2021–2022-yillardagi texnik-ekspluatatsion ma'lumotlar asosida muallif hisob-kitobi.

Jadval natijalaridan ko'rinadiki, 2023-yilda ayrim ko'rsatkichlarning indeks qiymati 1 dan yuqori bo'lgan. Xususan, umumiy sig'im indeksi 1,101, sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti 1,086, yo'lovchi-kilometr ishi 1,051 va tashilgan yo'lovchilar soni 1,049 ni tashkil etgan. Bu ko'rsatkichlarda 2021-yilga nisbatan ijobiy dinamika mavjudligini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti 0,904, ishga chiqish koeffitsiyenti 0,894, umumiy yurish 0,940 va bir transport vositasining ish unumdorligi 0,950 qiymatga ega bo'lgan. Demak, ushbu yo'nalishlarda 2023-yilda bazaviy davrga nisbatan pasayish kuzatilgan.

Ekspluatatsion tezlikning indeksi 0,991, sutkalik o'rtacha yurish indeksi esa 0,993 bo'lib, mazkur ko'rsatkichlarda o'zgarish nisbatan kichik bo'lgan.

Shunday qilib, nisbiy indeksni hisoblash natijalari transport vositalari ekspluatatsiyasida ijobiy va salbiy yo'nalishdagi o'zgarishlar bir vaqtning o'zida mavjudligini ko'rsatdi. Bu holat alohida ko'rsatkichlar bo'yicha berilgan baho umumiy ekspluatatsion holatni to'liq ifodalamasligini va keyingi bosqichda ko'rsatkichlarni funksional guruhlar bo'yicha umumlashtirish zarurligini ko'rsatadi.

Avvalgi bosqichda aniqlangan nisbiy indekslar asosida ekspluatatsion ko'rsatkichlarning uchta funksional guruhi bo'yicha kompleks baholash amalga oshirildi. Bunda asosiy maqsad alohida ko'rsatkichlardagi qarama-qarshi o'zgarishlarni umumlashtirib, transport vositalarining ekspluatatsion faoliyatidagi umumiy tendensiyaning aniqlashdan iborat.

Tashilgan samaradorligi guruhi tashilgan yo'lovchilar soni, yo'lovchi-kilometr ishi, o'rtacha tashish masofasi va transport vositasining ish unumdorligi kabi ko'rsatkichlarni qamrab oladi.

Tashilgan yo'lovchilar sonining indeksi:

$$I_1 = \frac{144967,2}{138209,1} = 1,049$$

Yo'lovchi-kilometr ishining indeksi:

$$I_2 = \frac{899362,1}{855346,7} = 1,051$$

O'rtacha tashish masofasi yo'lovchi-kilometr ishining tashilgan yo'lovchilar soniga nisbati orqali aniqlash mumkin:

$$L_{ort} = \frac{P_{ykm}}{Q} \quad (10)$$

2022-yilda 6,19 km, 2023 yilda 6,20 km
Shundan o'rtacha tashish masofasi indeksi:

$$I_3 = \frac{6,20}{6,19} = 1,002$$

Transport vositasining ish unumdorligi indeksi esa:

$$I_4 = \frac{3982,6}{4193,9} = 0,950$$

Natijada tashish samaradorligining kompleks indeksi:

$$K_T = \frac{1,049 + 1,051 + 1,002 + 0,950}{4} = 1,013$$

Demak, tashish samaradorligi guruhining kompleks indeksi 1,013 ni tashkil etib, tanlangan ko'rsatkichlar bo'yicha 2023-yilda 2022-yilga nisbatan o'rtacha 1,3 % ijobiy o'zgarish mavjudligini ko'rsatadi.

Bu natija tashilgan yo'lovchilar va bajarilgan transport ishining oshganligi bilan birga, bitta transport vositasining ish unumdorligi pasayganligini ham hisobga oladi. Shu sababli tashish hajmining o'sishini transport vositalaridan foydalanish samaradorligining to'liq yaxshilanishi sifatida talqin qilish noto'g'ri bo'ladi.

Harakat samaradorligi guruhi ekspluatatsion tezlik, sutkalik o'rtacha bosib o'tilgan masofa, umumiy bosib o'tilgan masofa va liniyadagi ish vaqtini o'z ichiga oladi.

Mavjud ma'lumotlar asosida quyidagi indekslar aniqlandi:

$$I_5 = 0,991, I_6 = 0,993, I_7 = 0,940$$

Liniyadagi ish vaqti bo'yicha taqqoslanadigan ma'lumot mavjud bo'lmaganligi sababli ushbu ko'rsatkich kompleks hisobga kiritilmadi. Mavjud uchta ko'rsatkich bo'yicha:

$$K_H = \frac{0,991 + 0,993 + 0,940}{3} = 0,975$$

Shunday qilib, harakat samaradorligi indeksi 0,975 ga teng bo'lib, 2023-yilda ushbu guruh bo'yicha 2022-yilga nisbatan o'rtacha 2,5 % pasayish kuzatilgan.

Ayniqsa, umumiy yurishning 6,0 % ga kamayishi ushbu guruhdagi asosiy salbiy o'zgarishlardan biri hisoblanadi. Ekspluatatsion tezlik va sutkalik o'rtacha yurishdagi o'zgarishlar esa nisbatan kichik bo'lgan.

Uchinchi guruh transport vositalaridan foydalanish samaradorligini ifodalovchi ko'rsatkichlarni qamrab oladi: harakat tarkibidan foydalanish, ishga chiqish, sig'imdan foydalanish va liniyaviy ish unumdorligi.

Mavjud ma'lumotlar asosida harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti indeksi $I_8 = 0,904$, ishga chiqish koeffitsiyenti $I_9 = 0,894$, sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti $I_{10} = 1,086$

Liniyaviy ish unumdorligi bo'yicha mavjud ma'lumotlar asosida tegishli indeks aniqlanib, uchinchi guruhning kompleks bahosiga kiritiladi.

Ushbu guruhdagi asosiy xususiyat shundan iboratki, sig'imdan foydalanish koeffitsiyenti 8,6 % ga oshgan, biroq harakat tarkibidan foydalanish va ishga chiqish koeffitsiyentlari mos ravishda 9,6 % va 10,6 % ga kamaygan.

Bu holat transport vositalarining mavjud sig'imidan foydalanish darajasi yaxshilangan bo'lsa-da, parking ishga jalb etilishi va foydalanish darajasida muayyan muammolar mavjudligini ko'rsatadi.

Hisoblashlar quyidagi umumiy tendensiyaning ko'rsatadi:

Funksional guruh	Kompleks indeks	Baholash
Tashish samaradorligi	1,013	+1,3 %



Harakat samaradorligi	0,975	-2,5 %
Transport vositasidan foydalanish darajasi	alohida hisoblanadi	-

Shunday qilib, tadqiqotning muhim natijasi shundan iboratki, tashish samaradorligidagi ijobiy dinamika harakat va transport vositasidan foydalanish ko'rsatkichlaridagi pasayish bilan birga kechgan.

Avtotransport vositalarining ekspluatatsion faoliyatini umumiy baholash uchun alohida funksional guruhlar bo'yicha aniqlangan indekslarni yagona kompleks ko'rsatkichga birlashtirish zarur. Bunda tashish samaradorligi, harakat samaradorligi hamda transport vositasidan foydalanish darajasi birgalikda hisobga olinadi.

Tadqiqotda har bir funksional guruhning umumiy ekspluatatsion samaradorlikka ta'siri teng deb qabul qilinadi. Shunga ko'ra, kompleks ekspluatatsion o'zgarish indeksi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$K_E = \frac{K_T + K_H + K_F}{3} \quad (11)$$

bu yerda:

K_E - kompleks ekspluatatsion o'zgarish indeksi;

K_T - tashish samaradorligi indeksi;

K_H - harakat samaradorligi indeksi;

K_F - transport vositasidan foydalanish darajasi indeksi.

Mazkur yondashuvning afzalligi shundaki, u transport vositalarining ekspluatatsion holatini faqat tashish hajmi asosida emas, balki tashish jarayoni, harakatlanish va mavjud transport vositalaridan foydalanish darajasini birgalikda hisobga olgan holda baholash imkonini beradi.

Avvalgi hisoblashlardan tashish samaradorligi indeksi $K_T = 1,013$ ni harakat samaradorligi esa $K_H = 0,975$ tashkil etgan. Transport vositasidan foydalanish darajasining kompleksi bo'yicha esa mavjud ma'lumotlar asosida alohida indeks hisoblanadi. Bunda harakat tarkibidan foydalanish, ishga chiqish, sig'imdan foydalanish va liniyaviy ish unumdorligi ko'rsatkichlari hisobga olinadi. Mazkur guruhda ayrim ko'rsatkichlar oshgan, ayrimlari esa kamayganligi sababli ularning o'rtacha qiymati transport vositalaridan foydalanishning umumiy tendensiyasini ifodalaydi.

Olingan natijalar transport vositalari ekspluatatsiyasida qarama-qarshi tendensiyalar mavjudligini ko'rsatadi. Bir tomondan, tashilgan yo'lovchilar soni va yo'lovchi-kilometr ishining ortishi transport xizmatlariga bo'lgan talab hamda bajarilgan transport ishining oshganligini ko'rsatadi. Ikkinchi tomondan, harakat tarkibidan foydalanish, ishga chiqish va umumiy yurish kabi ayrim ko'rsatkichlarning pasayishi mavjud transport resurslaridan foydalanishda samaradorlik zaxiralari mavjudligini ko'rsatadi.

Shu sababli transport vositalarining ekspluatatsion samaradorligini faqat tashish hajmining o'sishi bilan baholash yetarli emas. Kompleks indeks ushbu qarama-qarshi tendensiyalarni yagona baholash tizimida birlashtirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, transport vositalarining ekspluatatsion samaradorligi bir-biridan mustaqil bo'lmagan ko'rsatkichlar majmuasi orqali shakllanadi. Shu sababli mavsumiy sharoitlarning ta'sirini baholashda faqat bitta parametrga tayanish ilmiy va amaliy jihatdan yetarli emas.

Masalan, tashilgan yo'lovchilar sonining 4,9 % ga va yo'lovchi-kilometr ishining 5,1 % ga oshishi ijobiy tendensiya bo'lsa-da, harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyentining 9,6 % ga, ishga chiqish koeffitsiyentining 10,6 % ga kamayishi transport vositalari parkidan foydalanish bilan bog'liq muammolarni ko'rsatadi.

Demak, tashish talabi oshgan bo'lsa-da, ushbu talabni qondirish jarayonida mavjud transport vositalaridan foydalanish samaradorligini yanada oshirish imkoniyati mavjud.

Bu natija mavsumiy foydalanish sharoitlarini o'rganishda muhim metodologik xulosaga olib keladi: meteorologik omillarning ta'siri transport vositasining faqat texnik holatida emas, balki uning yo'nalishga chiqishi, harakatlanishi, tashish unumdorligi va sig'imidan foydalanish kabi ko'rsatkichlarida namoyon bo'lishi mumkin.

Biroq ushbu bog'liqlikni aniq miqdoriy ifodalash uchun kelgusidagi tadqiqotlarda har bir oy bo'yicha

havo harorati, yog'ingarchilik, qor va muzlama kunlari, yo'l qoplamasining holati, transport oqimi zichligi, ekspluatatsion tezlik, yo'nalishga chiqish, yoqilg'i sarfi, ish unumdorligi kabi ma'lumotlarni yagona ma'lumotlar bazasiga birlashtirish maqsadga muvofiq.

Shunda kompleks indeksning mavsumiy o'zgarishini aniqlash va qaysi omil transport vositasining ekspluatatsion samaradorligiga eng katta ta'sir ko'rsatayotganini statistik jihatdan aniqlash mumkin bo'ladi.

Olingan natijalar transport korxonalarida mavsumiy foydalanish sharoitlarini hisobga olgan holda ekspluatatsion boshqaruvni takomillashtirish zarurligini ko'rsatadi. Xususan, tashish hajmi oshayotgan sharoitda transport vositalarining ishga chiqish va foydalanish koeffitsiyentlarining pasayishi mavjud transport parkingning imkoniyatlaridan to'liq foydalanilmayotganligini ko'rsatishi mumkin.

Shu sababli mavsumiy sharoitlarda transport vositalarining ish rejimini shakllantirishda faqat yo'lovchilar talabini emas, balki yo'l va ob-havo sharoitlari, transport vositasining texnik holati hamda parkdan foydalanish darajasini birgalikda hisobga olish maqsadga muvofiq.

Taklif etilgan metodologiya asosida korxona darajasida quyidagi boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish mumkin:

mavsumga mos harakat tarkibini shakllantirish;
texnik xizmat ko'rsatish davriyligini moslashtirish;
noqulay ob-havo sharoitlarida yo'nalish ish rejimini qayta ko'rib chiqish;

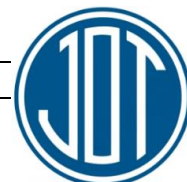
transport vositalarining yo'nalishga chiqish darajasini optimallashtirish;

talab va ekspluatatsion sharoitga mos transport sig'imini belgilash;

transport vositalarining ish unumdorligini monitoring qilish.

Shunday qilib, maqolada ishlab chiqilgan yondashuv mavsumiy omillarni aniqlash ekspluatatsion ko'rsatkichlarni guruhlash, nisbiy indekslarni hisoblash, kompleks ekspluatatsion indeksni aniqlash, meteorologik omillar bilan statistik bog'liqlikni baholash ketma-ketligiga asoslanadi. Bu ketma-ketlik mavsumiy foydalanish sharoitlarining avtotransport vositalari ekspluatatsion samaradorligiga ta'sirini kompleks o'rganish uchun yagona metodologik asosni shakllantiradi.

Tadqiqot natijalari avtotransport vositalaridan foydalanish samaradorligini baholashda mavsumiy sharoitlarni alohida omil sifatida emas, balki transport



vositasining umumiy ekspluatatsion faoliyati bilan bog'liq holda ko'rib chiqish zarurligini ko'rsatadi.

2022–2023-yillar ma'lumotlari tahlili natijasida tashilgan yo'lovchilar soni 4,9 % ga, yo'lovchi-kilometr ishi 5,1 % ga oshgan bo'lsa, harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti 9,6 % ga, ishga chiqish koeffitsiyenti 10,6 % ga, umumiy yurish esa 6,0 % ga kamaygan.

Mazkur natijalar transport xizmatlariga bo'lgan talabning o'sishi har doim ham transport vositalaridan foydalanish samaradorligining proporsional oshishiga olib kelmasligini ko'rsatadi. Shuning uchun transport korxonalarida ekspluatatsion samaradorlikni monitoring qilishda quyidagi uchta yo'nalishni birgalikda nazorat qilish maqsadga muvofiq:

tashish samaradorligi - qancha yo'lovchi tashilayotgani va qancha transport ishi bajarilayotganligi;

harakat samaradorligi - transport vositasining qanday tezlikda va qancha masofada ishlayotganligi;

foydalanish samaradorligi - mavjud transport vositalarining qanchalik darajada ishga jalb etilayotganligi.

Bunday yondashuv mavsumiy sharoitlarda transport korxonasi faoliyatidagi zaif nuqtalarni aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari asosida avtotransport vositalarining mavsumiy ekspluatatsiyasini takomillashtirish uchun quyidagi metodik va amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Birinchidan, meteorologik sharoitlarning muntazam monitoringini tashkil etish lozim. Havo harorati, yog'ingarchilik, qor va muzlama kabi ma'lumotlar ekspluatatsion ko'rsatkichlar bilan bir xil vaqt oralig'ida qayd etilishi kerak.

Ikkinchidan, transport vositalarining texnik holatini mavsumiy sharoitga mos ravishda nazorat qilish zarur. Ayniqsa, noqulay ob-havo davrlarida texnik xizmat ko'rsatish va diagnostika ishlarini kuchaytirish transport vositalarining yo'nalishga chiqish darajasini barqarorlashtirishga xizmat qiladi.

Uchinchidan, yo'nalishlardagi transport vositalari sonini mavsumiy talab va yo'l-harakat sharoitlariga moslashtirish maqsadga muvofiq. Bunda faqat yo'lovchilar soni emas, balki ekspluatatsion tezlik, yo'l sharoiti va transport vositalarining mavjudligi ham hisobga olinishi kerak.

To'rtinchidan, transport vositalarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini oylar kesimida monitoring qilish lozim. Bu yondashuv yillik o'rtacha qiymatlar ortida yashiringan mavsumiy o'zgarishlarni aniqlash imkonini beradi.

Beshinchidan, kompleks K_E indeksidan korxonaning ekspluatatsion monitoring ko'rsatkichi sifatida foydalanish mumkin. Bunda indeksning vaqt bo'yicha o'zgarishi kuzatilib, uning pasayishiga sabab bo'layotgan funksional guruh aniqlanadi.

Masalan, K_E pasaygan holatda dastlab K_T , K_H va K_F indeksleri alohida tekshiriladi. Agar K_H pasaygan bo'lsa, harakat sharoitlari va yo'l omillariga; K_F pasaygan bo'lsa, transport vositalarining ishga chiqishi va texnik holatiga; K_T pasaygan bo'lsa, tashish jarayoni va sig'imdanda foydalanishga alohida e'tibor qaratiladi.

Shu tariqa kompleks indeks nafaqat baholash, balki ekspluatatsion boshqaruv uchun diagnostik vosita sifatida ham qo'llanishi mumkin.

Natijalar muhokamasi

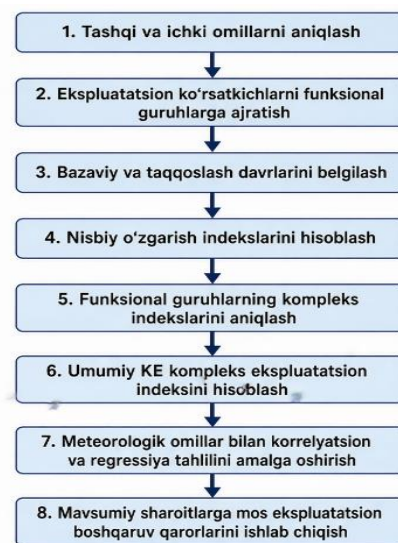
Tadqiqot natijalarini umumlashtirish shuni ko'rsatadiki, avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligi ko'p omilli tizim hisoblanadi. Mavsumiy sharoitlar ushbu tizimga bevosita va bilvosita ta'sir ko'rsatadi.

Bevosita ta'sirga havo harorati, yog'ingarchilik, qor-muzlama, shamol va ko'rinish masofasi kabi omillar kirs, bilvosita ta'sir transport vositasining texnik holati, harakat tezligi, yo'nalishga chiqish darajasi va ish unumdorligida namoyon bo'ladi.

Shu sababli maqolada taklif etilgan metodologik modelning asosiy ustunligi sabab va natijani bir-biridan ajratib ko'rsatish imkoniyatidir. Ya'ni 2022–2023-yillardagi ma'lumotlardan ekspluatatsion ko'rsatkichlarning o'zgarishi aniqlanadi, meteorologik ma'lumotlar mavjud bo'lganida esa ushbu o'zgarishlarning qanchasi aynan mavsumiy omillar bilan bog'liqligi statistik usullar yordamida aniqlanishi mumkin.

Bu jihat tadqiqotning ilmiy ishonchligini oshiradi. Chunki mavjud ma'lumotlar asosida mavsumiy omillarning aniq foizdagi ta'sirini sun'iy ravishda belgilash o'rniga, mavjud natijalar va kelgusida bajarilishi kerak bo'lgan statistik baholash bosqichlari aniq chegaralanadi.

Natijada maqolada taklif etilgan metodologiya quyidagi ketma-ketlikni hosil qiladi 3-rasm.



3-rasm. Ekspluatatsion ko'rsatkichlarni tahlil qilish ketma-ketligi

Ekspluatatsion ko'rsatkichlarni tahlil qilishning ketma-ketligi jarayon tashqi va ichki omillarni aniqlashdan boshlanib, funksional guruhlariga ajratish, indekslarni hisoblash, meteorologik omillar bilan korrelyatsion-regressiya tahlili orqali yakuniy mavsumiy boshqaruv qarorlarini ishlab chiqishgacha davom etadi.

4. Xulosa

Mazkur tadqiqotda avtotransport vositalarining ekspluatatsion ko'rsatkichlariga mavsumiy foydalanish sharoitlarining ta'sirini kompleks baholashga qaratilgan metodologik yondashuv ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. Avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligi ko'p omilli xususiyatga ega bo'lib, unga havo harorati, yog'ingarchilik, qor va muzlama, yo'l qoplamasining holati, shamol, ko'rinish masofasi hamda transport oqimining zichligi kabi tashqi omillar bilan bir qatorda transport vositasining texnik holati, yuklanish darajasi, yo'nalishga chiqish darajasi va texnik xizmat



ko'rsatish holati kabi ichki ekspluatatsion omillar ham ta'sir ko'rsatadi.

2. Ekspluatatsion ko'rsatkichlarni tashish samaradorligi, harakat samaradorligi va transport vositasidan foydalanish darajasi bo'yicha uchta funksional guruhga ajratish ularning o'zaro bog'liqligini tizimli ravishda baholash imkonini berdi.

3. 2022–2023-yillar ma'lumotlari tahlili tashilgan yo'lovchilar soni 4,9 % ga, yo'lovchi-kilometr ishi 5,1 % ga oshganligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, harakat tarkibidan foydalanish koeffitsiyenti 9,6 % ga, ishga chiqish koeffitsiyenti 10,6 % ga, umumiy yurish esa 6,0 % ga kamaygan. Bu holat tashish hajmining o'sishi transport vositalaridan foydalanish samaradorligining barcha yo'nalishlarda bir xil oshganligini anglatmasligini ko'rsatadi.

4. Nisbiy o'zgarish indekslarini qo'llash orqali turli o'lchov birliklariga ega bo'lgan ekspluatatsion ko'rsatkichlarni yagona baholash tizimiga keltirish imkoniyati yaratildi. Hisoblashlar tashish samaradorligi guruhida ($K_T=1,013$), harakat samaradorligi guruhida esa ($K_H=0,975$) qiymatlarni ko'rsatdi.

5. Taklif etilgan kompleks ekspluatatsion indeks (K_E) transport vositalarining umumiy ekspluatatsion holatini alohida ko'rsatkichlardan ko'ra kengroq baholash imkonini beradi. Ushbu indeksni vaqt bo'yicha monitoring qilish orqali ekspluatatsion samaradorlikning o'zgarish tendensiyasini aniqlash va uning qaysi funksional guruh hisobiga shakllanayotganini belgilash mumkin.

6. Tadqiqotda mavsumiy omillarning ta'sirini aniqlash uchun korrelyatsion va ko'p omilli regressiya modeli taklif etildi. Ushbu model orqali havo harorati, yog'ingarchilik, qor-muzlama, shamol va yo'l sharoitining ekspluatatsion ko'rsatkichlarga ta'sirini miqdoriy baholash mumkin.

Mavjud ma'lumotlar yillik umumlashtirilgan ko'rsatkichlardan tashkil topganligi sababli, ushbu ma'lumotlar asosida qaysi fasl yoki meteorologik omilning ta'siri necha foiz ekanligini bevosita aniqlash imkoniyati cheklangan. Shu sababli mavsumiy ta'sirni aniq baholash uchun oylik meteorologik va ekspluatatsion ma'lumotlarni yagona ma'lumotlar bazasiga birlashtirish zarur.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan metodologik yondashuv mavsumiy omillarni aniqlash, ekspluatatsion ko'rsatkichlarni guruhlash, nisbiy indekslarni hisoblash, funksional guruh indekslarini aniqlash, kompleks ekspluatatsion indeksni shakllantirish, korrelyatsion-regression tahlil, amaliy boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish ketma-ketligiga asoslanadi.

Shunday qilib, taklif etilgan metodologiya avtotransport vositalarining ekspluatatsion samaradorligini mavsumiy foydalanish sharoitlarini hisobga olgan holda kompleks va tizimli baholash, mavjud ekspluatatsion xazinalarni aniqlash hamda transport korxonalarda mavsumga mos texnik va tashkiliy boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish uchun ilmiy-metodik asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PQ-59-son "Jamoat transporti tizimini isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 23-fevraldagi PQ-63-son "Transport sohasida davlat boshqaruvi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori.
- [3] Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки. - Москва: Академия, 2008.
- [4] Вельможин А. В., Гудков В. А., Миротин Л. Б., Куликов А. В. Грузовые автомобильные перевозки. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2006.
- [5] Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. - Москва: Академия, 2003.
- [6] Володин Е. Д., Громовой А. В. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом. - Москва: Транспорт, 1982.
- [7] Горев А. Э. Основы теории транспортных систем. - Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2010.
- [8] Кузнецов Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. - Москва: Наука, 2004.
- [9] Туревский И. С. Техническое обслуживание автомобилей. - Москва: Форум, 2012.
- [10] ГОСТ Р 51006-96. Услуги транспортные. Термины и определения. - Москва: Госстандарт России.
- [11] ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования. - Москва: Госстандарт России.
- [12] Власов В. М., Жанказиев С. В., Круглов В. В. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. - Москва: Академия, 2013.
- [13] Логинов В. Н. Эксплуатация автомобильного транспорта. - Москва: Транспорт, 2005.
- [14] Маслова О. В. Эксплуатационные свойства автомобилей. - Москва: Транспорт, 2008.

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

Mo'minov Toshkent davlat transport universiteti "Transport logistikasi" kafedrasida katta o'qituvchisi
Muminov E-mail: muminov_t@tstu.uz
Tel.: +998901686835

<https://orcid.org/0009-0006-3167-3808>

Dolievaya Toshkent davlat transport universiteti, Xorijiy talablar bilan ishlash bo'limi yetakchi mutaxassis
Dilnura E-mail:

dilnuradaliyeva1995@gmail.com

Tel.: +998939903121

<https://orcid.org/0009-0005-8527-4100>



Concept for improving the management system of “Tashkent metropoliteni” JSC based on regional operational hubs

S.T. Norkulov¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article provides a comprehensive scientific and practical analysis of improving the management system of “Tashkent Metropoliteni” based on decentralization and the establishment of regional operational hubs. The study explores the functional separation of strategic and operational management, the implementation of four independent operational hubs (“Chilonzor”, “O‘zbekiston”, “Yunusobod”, and “Halqa Yo‘li”), Key Performance Indicators (KPI), financial discipline, digital transformation, public-private partnership and outsourcing mechanisms, as well as anti-corruption and rule-of-law frameworks.

Keywords: Tashkent Metro, corporate governance, decentralization, regional operational hubs, KPI, digital transformation, outsourcing, traffic safety, compliance control

“Toshkent metropoliteni” AJ boshqaruv tizimini hududiy ekspluatatsiya uzellari asosida takomillashtirish konsepsiyasi

Norqulov S.T.¹ ^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada “Toshkent metropoliteni” faoliyatining samaradorligini oshirish, boshqaruv tizimini markazsizlashtirish hamda hududiy ekspluatatsiya uzellari asosida takomillashtirish kontsepsiyasi ilmiy va amaliy jihatdan tahlil qilinadi. Tadqiqotda strategik va operatsion boshqaruv funksiyalarini aniq ajratish, to‘rtta mustaqil hududiy uzel (“Chilonzor”, “O‘zbekiston”, “Yunusobod” va “Halqa yo‘li”) faoliyatini yo‘lga qo‘yish, asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari (KPI) tizimini tatbiq etish, moliyaviy intizom, raqamli transformatsiya, davlat-xususiy sheriklik va autsorsing imkoniyatlari, shuningdek, korruptsiyaning oldini olish va qonun ustuvorligini ta‘minlash mexanizmlari yoritib berilgan.

Kalit so‘zlar: Toshkent metropoliteni, korporativ boshqaruv, markazsizlashtirish, hududiy ekspluatatsiya uzellari, KPI (KPI), raqamli transformatsiya, autsorsing, harakat xavfsizligi, komplaens nazorati

1. Kirish

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2026 yil 15 maydagi PQ-191-son “Toshkent metropoliteni faoliyatining samaradorligini oshirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori bilan transformatsiya jarayonlarini yangi bosqichga olib chiqish, zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng joriy etish, xizmat ko‘rsatish sifati va harakat xavfsizligini yanada oshirish, shuningdek, 2030 yilga qadar kunlik yo‘lovchilar sonini 1,8 million nafarga, metro bekatlari sonini 79 taga hamda liniyalar uzunligini 103 kilometrga etkazish bo‘yicha aniq strategik vazifalar belgilandi.

Mazkur qarorlarda belgilangan ustuvor vazifalarning izchil ijrosini ta‘minlash, metropoliten tarmog‘ining jadal rivojlanish sur‘atlariga mos boshqaruv tizimini shakllantirish hamda ekspluatatsiya jarayonlarini yanada samarali tashkil etish zamonaviy boshqaruv yondashuvlarini keng tatbiq etishni taqozo etadi.

Ayniqsa, yangi metro yo‘nalishlari va bekatlarining foydalanishga topshirilishi, muhandislik inshootlari hamda texnologik tizimlar hajmining ortib borishi boshqaruv jarayonlarini hududlar kesimida yanada maqbullashtirish, vakolat va mas‘uliyatni aniq taqsimlash, qarorlar qabul qilish tezkorligini oshirish hamda operatsion boshqaruv samaradorligini kuchaytirishni talab etmoqda.

Amaldagi markazlashgan boshqaruv tizimida operatsion, texnik va tashkiliy masalalarning asosiy qismi markaziy apparatda jamlanganligi sababli qarorlar qabul qilish va ularni joylarda amalga oshirish jarayoni murakkablashmoqda, boshqaruv pog‘onalari ortmoqda, markaziy apparatning operatsion yuklamasi oshmoqda hamda hududiy rahbarlarning shaxsiy mas‘uliyati va tashabbuskorligi to‘liq namoyon bo‘lishiga etarli sharoit yaratilmayapti.

Shu bois Toshkent metropolitenida boshqaruvni markazsizlashtirish, vakolat va javobgarlikni quyi bo‘g‘inlarga bosqichma-bosqich o‘tkazish, strategik va operatsion boshqaruv funksiyalarini aniq ajratish hamda

^a <https://orcid.org/0000-0001-8047-0835>



zamonaviy korporativ boshqaruv tamoyillarini joriy etish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Adabiyotlar sharhi

Zamonaviy shahar relsli transporti va metropoliten tizimlarini boshqarishda markazsizlashtirish hamda hududiy operatsion boshqaruv bo'g'inlarini shakllantirish xalqaro amaliyotda keng e'tirof etilgan yondashuvlardan biridir. Vuchic (2005) yirik metro tizimlarida liniyalar kesimida mustaqil ekspluatatsiya bo'linmalarini tashkil etish tezkorlikni 30-40 foizga oshirishini ta'kidlagan. Xalqaro Jamoat Transporti Ittifoqi (UITP, 2023) tahlillariga ko'ra, markaziy apparatni operatsion yuklamalardan ozod etib, strategik tahlil va nazoratga yo'naltirish transport xavfsizligi va investitsiyaviy jozibadorlikni sezilarli darajada oshiradi.

Iqtisodiy hamkorlik va taraqqiyot tashkiloti (OECD, 2015) davlat ishtirokidagi yirik korxonalarda korporativ boshqaruv standartlarini joriy etishda strategik rejalashtirish, ichki audit, komplaens va risk-menejment tizimlarini kuchaytirish ustuvorligini ko'rsatadi. Jahon banki (World Bank, 2022) tadqiqotlarida esa metropoliten infratuzilmalarining yordamchi sohalarida davlat-xususiy

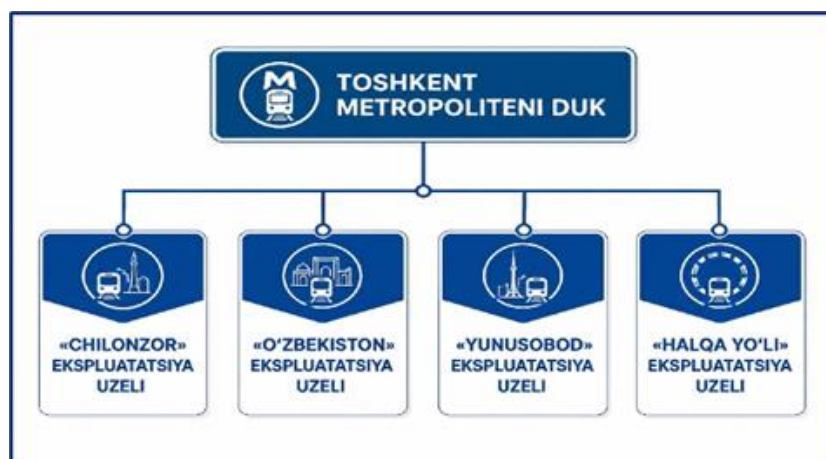
shiriklik (DXSh) va outsorsing mexanizmlari xarajatlarni optimallashtirishda yuqori natija berishi qayd etilgan. O'zbekiston olimlari (Norqulov, 2024; Komilov va Abdullaev, 2024) tomonidan milliy transport tizimida raqamli transformatsiya (ERP, JoCMIS) va KPI baholash tizimlarining institutsional mexanizmlari tadqiq etilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot jarayonida tizimli tahlil, qiyosiy-strukturaviy tahlil, boshqaruv funktsiyalarini dekompozitsiya qilish, ekspert baholash hamda maqsadli loyihalash metodlaridan foydalanildi.

Tadqiqot doirasida Toshkent metropolitenining ekspluatatsiya faoliyatini to'rtta hududiy ekspluatatsiya uzeli negizida qayta tashkil etish taklif etiladi:

- "Chilonzor" ekspluatatsiya uzeli;
- "O'zbekiston" ekspluatatsiya uzeli;
- "Yunusobod" ekspluatatsiya uzeli;
- "Halqa yo'li" ekspluatatsiya uzeli.



1-rasm. "Toshkent metropoliteni" AJning hududiy ekspluatatsiya uzellari asosidagi taklif etilayotgan tashkiliy boshqaruv tuzilmasi

Har bir ekspluatatsiya uzeli bir xil maqom, teng vakolat, teng huquq va teng javobgarlikka ega mustaqil operatsion boshqaruv bo'g'ini sifatida faoliyat yuritadi. Ularning barchasi yagona texnik siyosat, yagona korporativ standartlar, yagona moliyaviy intizom hamda yagona xavfsizlik talablari asosida ishlaydi.

3. Natija va muhokamalar

Hududiy ekspluatatsiya uzellarining vazifa va vakolatlari. Har bir uzeli o'z hududida poezdlar harakatini tashkil etish, harakat xavfsizligini ta'minlash, bekatlar faoliyatini boshqarish, yo'lovchilarga xizmat ko'rsatish, yo'l xo'jaligi, elektr ta'minoti, signalizatsiya va aloqa tizimlari, eskalator va boshqa muhandislik uskunalari ekspluatatsiya qilish, joriy va profilaktik ta'mirlash ishlarini tashkil etish, sanitariya va obodonlashtirish, mehnatni muhofaza qilish, yong'in hamda sanoat xavfsizligini ta'minlash, favqulodda vaziyatlarga tezkor javob berish, moddiy-texnika resurslaridan samarali foydalanish, xodimlarni boshqarish

hamda ishlab chiqarish ko'rsatkichlariga erishish uchun to'liq javobgar bo'ladi.

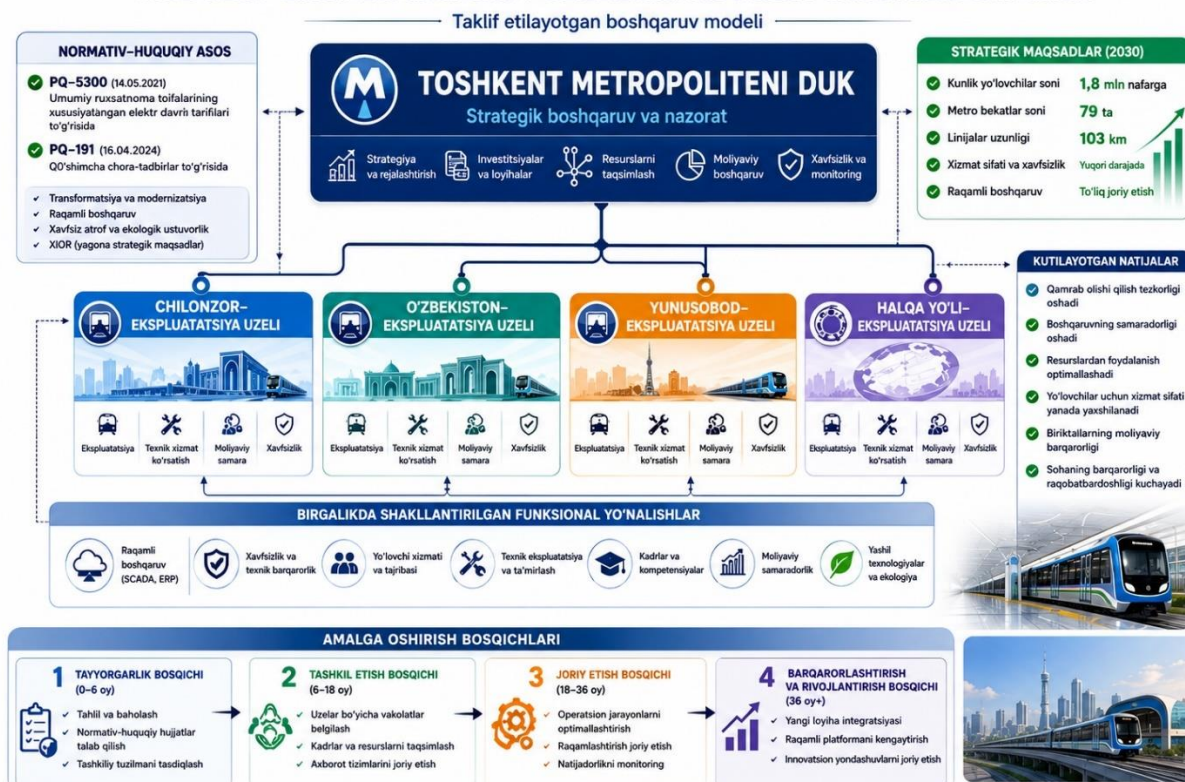
Bunda har bir uzeli faoliyati aniq belgilangan samaradorlik ko'rsatkichlari (KPI) asosida baholanadi va rahbarlarning shaxsiy mas'uliyati natija bilan o'lchanadi.

Markaziy apparatning funktsional ixtisoslashuvi. Markaziy apparat esa operatsion boshqaruvdan bosqichma-bosqich voz kechib, strategik rivojlantirish, korporativ boshqaruv, investitsiyalarni boshqarish, moliyaviy siyosatni shakllantirish, xaridlar siyosati, ichki audit va komplaens, yuridik ta'minot, axborot texnologiyalari, raqamli transformatsiya, ilmiy-innovatsion rivojlantirish, xalqaro hamkorlik, yagona texnik standartlarni ishlab chiqish, faoliyat samaradorligini monitoring qilish va ichki nazorat funktsiyalarini amalga oshiradi.

Bunday boshqaruv modeli markaziy apparatni kundalik operatsion masalalardan xalos etib, uning asosiy e'tiborini uzoq muddatli strategik rivojlanish, investitsiya loyihalarini amalga oshirish, xizmatlar sifatini oshirish va transport xavfsizligini ta'minlashga qaratish imkonini beradi.

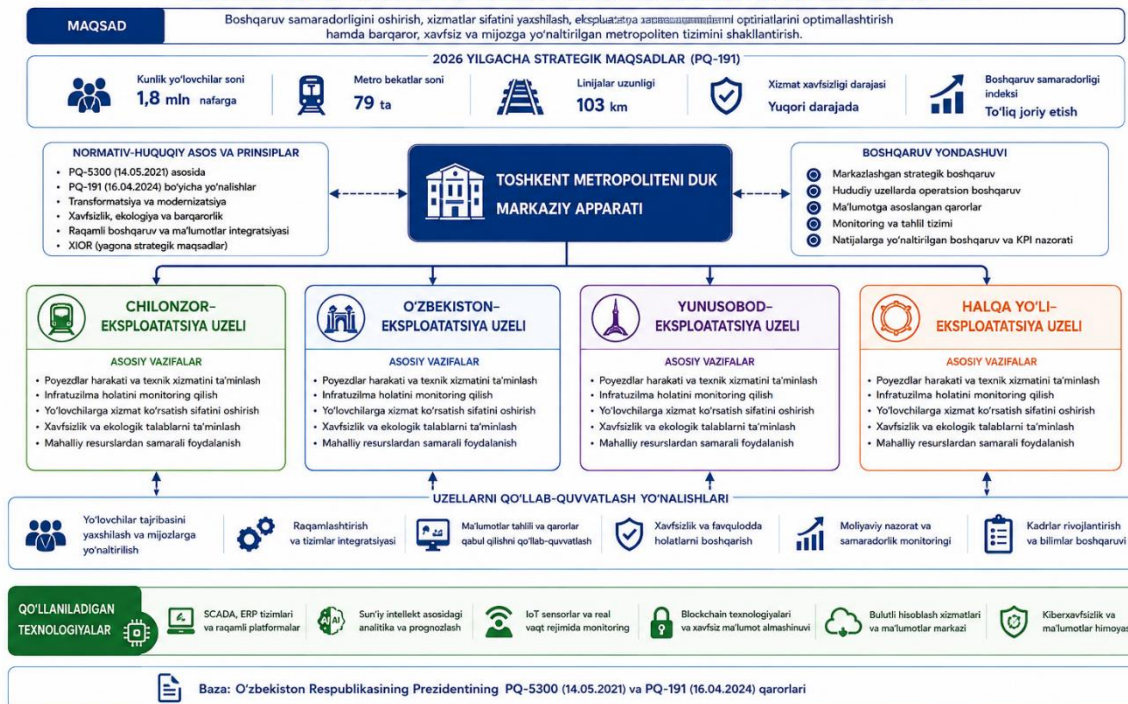


TOSHKENT METROPOLITENI BOSHQARUV TIZIMINI HUDUDIIY EKSPLOATATSIYA UZELLARI ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH



2-rasm. Toshkent metropoliteni boshqaruv tizimini hududiiy ekspluatatsiya uzellari asosida takomillashtirishning taklif etilayotgan boshqaruv modeli

TOSHKENT METROPOLITENI DUK BOSHQARUV TIZIMINI HUDUDIIY EKSPLOATATSIYA UZELLARI ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH KONSEPTSIIYASI



3-rasm. Toshkent metropoliteni DUK boshqaruv tizimini hududiiy ekspluatatsiya uzellari asosida takomillashtirish konsepsiyasi



1-jadval
Boshqaruv modellari qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich va yo'nalish-lar	Amaldagi markazlash-gan model	Taklif etilayotgan hududiy uzellar modeli
Boshqaruv tuzilmasi	Markazlashgan ma'muriy boshqaruv, barcha qarorlar markaziy apparatda jamlangan	Strategik markaz va 4 ta mustaqil hududiy operatsion uzal
Qarorlar qabul qilish tezkorligi	Ko'p pog'onali kelishuvlar tufayli sust, operatsion murakkablik-lar mavjud	Yuqori tezkorlik, joylardagi muammolar qisqa muddatda hal etiladi
Mas'uliyat va hisobdorlik	Javobgarlik bo'linmalar o'rtasida tarqoq, shaxsiy mas'uliyat cheklangan	Har bir uzal rahbarining aniq KPI va shaxsiy javobgarligi belgilangan
Moliyaviy nazorat va xarajatlar	Umumiy byudjet hisobi, xarajatlarni uzellar kesimida tahlil qilish murakkab	Har bir uzal xarajatlar smetasi va resurslar bo'yicha alohida shaffof tahlil qilinadi
Raqamli transformatsiya va innovatsiya-lar	Lokal avtomatlashtirish, ma'lumotlar integratsiyasi cheklangan	Yagona raqamli platforma (ERP, JoCMIS), sun'iy intellekt va prognozlashtirish
Investitsiyaviy va DXSh jozibadorligi	Past darajadagi korporativ moslashuvchanlik	Xalqaro korporativ standartlar, reytinglar yaxshilanishi va autsorsing imkoniyati

Boshqaruv modelini amalga oshirish bosqichlari

1. Tayyorgarlik bosqichi (0–6 oy): Tahlil va loyihalash, normativ-huquqiy hujjatlar ishlab chiqish, tashkiliy tuzilmani tasdiqlash.

2. Tashkil etish bosqichi (6–12 oy): Uzellar bo'yicha vakolatlarni belgilash, kadrlar va resurslarni shakllantirish, axborot tizimlarini joriy etish.

3. Joriy etish bosqichi (12–24 oy): Operatsion jarayonlarni optimallashtirish, standartlarni joriy etish, natijadorlikni monitoring qilish.

4. Bosqichma-bosqich rivojlanirish (2026–2030 yillar): Yangi liniyalar integratsiyasi, raqamli platformalarni kengaytirish, xizmatlarni yangi bosqichga olib chiqish.

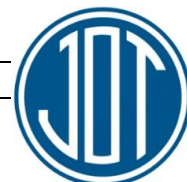
Iqtisodiy samaradorlik, sog'lom ichki raqobat va moliyaviy intizom. Hududiy ekspluatatsiya uzellari tizimini joriy etish natijasida boshqaruvning ortiqcha markazlashuvi bartaraf etiladi, qarorlar qabul qilish va ularni amalga oshirish tezligi sezilarli darajada oshadi, rahbarlarning shaxsiy javobgarligi kuchayadi, resurslardan foydalanish samaradorligi ortadi, ekspluatatsiya xarajatlari optimallashtiriladi, texnik nosozliklarni bartaraf etish muddati qisqaradi, yo'lovchilarga ko'rsatilayotgan xizmat sifat va harakat xavfsizligi yanada yuksaladi, shuningdek, zamonaviy korporativ boshqaruv tamoyillariga asoslangan, shaffof, samarali va natijador boshqaruv tizimi shakllanadi.

Mazkur islohot Toshkent metropolitenining kelgusidagi barqaror rivojlanishini ta'minlash, transport xizmatlari sifatini xalqaro standartlar darajasiga olib chiqish, infratuzilmadan foydalanish samaradorligini oshirish hamda davlat rahbari tomonidan belgilangan transport tizimini modernizatsiya qilish, davlat korxonalarida korporativ boshqaruvni takomillashtirish va boshqaruv samaradorligini oshirish bo'yicha ustuvor vazifalarning amaliy ijrosini ta'minlashga xizmat qiladi.

Mazkur boshqaruv modelini joriy etish natijasida Toshkent metropolitenida vakolat va javobgarlikning aniq chegaralari shakllanadi hamda boshqaruvning har bir bo'g'ini faoliyati natijadorlik tamoyili asosida tashkil etiladi. Har bir ekspluatatsiya uzeli o'z hududidagi ishlab chiqarish, texnik, iqtisodiy va ekspluatatsion ko'rsatkichlar uchun bevosita javobgar bo'ladi. Bu esa mas'uliyatning markazlashib qolishini bartaraf etadi, rahbarlarning tashabbuskorligini oshiradi hamda joylarda yuzaga keladigan muammolarni qisqa muddatlarda hal etish imkonini yaratadi. Natijada qarorlar qabul qilish tezlashadi, ijro intizomi mustahkamlanadi, ishlab chiqarish samaradorligi oshadi va boshqaruv xarajatlari optimallashtiriladi.

Ekspluatatsiya uzellarining mustaqil faoliyat yuritishi sog'lom ichki raqobat muhitini shakllantiradi. Har bir uzal faoliyati asosiy samaradorlik ko'rsatkichlari (KPI) asosida muntazam baholab boriladi, ilg'or tajribalar boshqa uzellarga tatbiq etiladi hamda eng yuqori natija ko'rsatgan jamoalarni moddiy va ma'naviy rag'batlantirishning shaffof tizimi yaratiladi. Bunday yondashuv xizmatlar sifati, mehnat unumdorligi va resurslardan foydalanish samaradorligini muntazam oshirib borishga xizmat qiladi.

Boshqaruvning hududiy tamoyil asosida tashkil etilishi moliyaviy intizomni mustahkamlaydi. Har bir uzal xarajatlar smetasi, energiya resurslari sarfi, ehtiyot qismlar, materiallar va boshqa moddiy resurslardan foydalanish samaradorligi bo'yicha alohida tahlil qilinadi. Bu esa ortiqcha xarajatlarni kamaytirish, yo'qotishlarning oldini olish, energiya tejamkor texnologiyalarni keng joriy etish va mablag'lardan maqsadli foydalanish imkonini beradi.



Korporativ boshqaruv, xalqaro investitsiyalar va autorsing imkoniyatlari. Toshkent metropolitenining aksiyadorlik jamiyati sifatida faoliyat yuritishi sharoitida mazkur model korporativ boshqaruvning xalqaro tamoyillariga to'liq mos keladi. Xususan, strategik boshqaruv va operatsion boshqaruv funktsiyalari o'zaro aniq ajratiladi, kuzatuv kengashi va ijroiya organining nazorat mexanizmlari kuchayadi, har bir uzel faoliyati moliyaviy va ishlab chiqarish natijalari bo'yicha shaffof baholanadi. Bu esa investorlar, moliya institutlari va xalqaro hamkorlar uchun korxonaning investitsion jozibadorligini oshiradi, korporativ boshqaruv reytinglarini yaxshilaydi hamda kapital jalb qilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Mazkur tizim xalqaro moliya institutlari bilan hamkorlikni rivojlantirish uchun ham qulay sharoit yaratadi. Har bir uzel bo'yicha alohida investitsiya loyihalarini ishlab chiqish, ularning iqtisodiy samaradorligini baholash, loyiha boshqaruvini takomillashtirish va investitsiyalarning natijadorligini monitoring qilish imkoniyati paydo bo'ladi. Bu esa davlat byudjetiga tushadigan yuklamani bosqichma-bosqich kamaytirish bilan bir qatorda xususiy kapital va institutsional investorlarni jalb etish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Ekspluatatsiya uzellarini tashkil etish ishlab chiqarish jarayonlarini autorsing va davlat-xususiy sheriklik tamoyillari asosida rivojlantirish uchun ham yangi imkoniyatlar yaratadi. Xususan, er osti inshootlari mavjud bo'lmagan hamda fuqaro muhofazasi ob'ektlari toifasiga kirmaydigan ekspluatatsiya uzellarining ayrim yordamchi xizmatlari va xo'jalik funktsiyalarini bosqichma-bosqich xususiy sektor ishtirokida tashkil etish mumkin.

Jumladan, obodonlashtirish, sanitariya ishlari, ayrim texnik xizmatlar, bino va inshootlarni saqlash, logistika, ombor xo'jaligi, avtotransport xizmati, ayrim muhandislik uskunalariga texnik xizmat ko'rsatish kabi yo'nalishlarni tanlov asosida professional xususiy operatorlarga topshirish xarajatlarni kamaytirish, xizmatlar sifatini oshirish va davlat korxonasining asosiy faoliyatga e'tiborini kuchaytirishga xizmat qiladi.

Bunda strategik ahamiyatga ega bo'lgan er osti transport inshootlari, harakat xavfsizligi, signalizatsiya va markazlashtirish tizimlari, elektr ta'minoti, dispatcherlik boshqaruvi hamda davlat va jamoat xavfsizligi bilan bog'liq funktsiyalar to'liq Toshkent metropoliteni tasarrufida saqlanib qoladi. Shu bilan birga, fuqaro muhofazasi ob'ektlari toifasiga kirmaydigan yordamchi infratuzilmalar bo'yicha xususiy sektorni jalb etish orqali xizmatlar sifati oshiriladi, boshqaruv xarajatlari qisqartiriladi va zamonaviy servis standartlari joriy etiladi.

Inson resurslari va raqamli transformatsiya. Mazkur model inson resurslarini boshqarish tizimini ham tubdan takomillashtiradi. Har bir uzelda zamonaviy HR tizimlari, kompetentsiyaga asoslangan tanlov, malaka oshirish, rahbarlar zaxirasini shakllantirish va faoliyatni KPI asosida baholash mexanizmlari joriy etiladi. Natijada xodimlarning kasbiy salohiyati ortadi, mehnat unumdorligi oshadi hamda yuqori malakali mutaxassislarni saqlab qolish imkoniyati kengayadi.

Shuningdek, hududiy boshqaruv modeli raqamli transformatsiya jarayonlarini jadallashtirishga xizmat qiladi. Har bir uzelnig ishlab chiqarish, moliyaviy va texnik ko'rsatkichlari yagona raqamli platforma orqali real vaqt rejimida monitoring qilinadi, sun'iy intellekt elementlariga asoslangan tahliliy tizimlar orqali nosozliklar prognoz

qilinadi, resurslar taqsimoti optimallashtiriladi va boshqaruv qarorlari ma'lumotlarga asoslangan holda qabul qilinadi.

Umuman olganda, mazkur boshqaruv modeli Toshkent metropolitenining kelgusi transformatsiyasi uchun institutsional poydevor yaratadi. Natijada korxona klassik ma'muriy boshqaruv tizimidan zamonaviy korporativ boshqaruv modeliga o'tadi, operatsion samaradorlik sezilarli oshadi, investitsion jozibadorlik kuchayadi, davlat va xususiy sektor hamkorligi rivojlanadi hamda Toshkent metropolitenining uzoq muddatli moliyaviy barqarorligi, raqobatbardoshligi va xalqaro standartlar darajasidagi faoliyati ta'minlanadi.

Qonun ustuvorligi, ochiqlik, hisobdorlik va korruptsiyaga qarshi kurash. Mazkur boshqaruv modelining yana bir muhim afzalligi qonun ustuvorligini ta'minlash, shaxsiy javobgarlikni kuchaytirish hamda boshqaruvning ochiqligi va hisobdorligini yangi bosqichga olib chiqishdan iborat.

Vakolatlarining hududiy ekspluatatsiya uzellari kesimida aniq taqsimlanishi natijasida har bir rahbar va har bir tarkibiy bo'linmaning huquq, majburiyat va javobgarlik doirasi aniq belgilanadi. Bu esa boshqaruv qarorlarini qabul qilishda sub'ektiv yondashuvlarni kamaytiradi, ijro intizomini mustahkamlaydi hamda har bir mansabdor shaxsning faoliyati qonuniylik, shaffoflik va shaxsiy javobgarlik tamoyillari asosida baholanishini ta'minlaydi.

Har bir ekspluatatsiya uzeli o'z hududida moliyaviy intizom, xizmat ko'rsatish sifati, texnik ekspluatatsiya, mehnatni muhofaza qilish, harakat xavfsizligi, davlat mulkidan oqilona foydalanish hamda belgilangan ishlab chiqarish ko'rsatkichlariga erishish bo'yicha mustaqil javobgar hisoblanadi. Natijada kamchiliklar yoki qonunbuzilishlar yuzaga kelgan taqdirda javobgarlikni boshqa bo'linmalarga yuklash amaliyotiga barham beriladi, mas'ul shaxs va mas'ul bo'linma aniq belgilanadi. Bu esa boshqaruv tizimida hisobdorlikni sezilarli darajada kuchaytiradi.

Mazkur tizim korruptsiyaning oldini olish bo'yicha ham samarali institutsional mexanizmni yaratadi. Vakolatlarining aniq chegaralanishi, barcha xarajatlarning uzellar kesimida hisobga olinishi, raqamli monitoring tizimlarining joriy etilishi hamda har bir moliyaviy va xo'jalik operatsiyasining elektron nazorat ostida amalga oshirilishi inson omilini kamaytiradi. Xaridlar, ombor hisobi, moddiy resurslar harakati, yoqilg'i-energetika resurslari sarfi va xizmat ko'rsatish shartnomalarining shaffof yuritilishi korruptsiyaviy xavflarni sezilarli darajada qisqartiradi.

Har bir ekspluatatsiya uzeli bo'yicha ichki audit va komplaens nazorati, rejim va ichki xavfsizlik alohida tashkil etilishi tizimli nazoratni kuchaytiradi. Tavakkalchiliklar muntazam baholanadi, qonunbuzilishlarning kelib chiqish sabablari tahlil qilinadi va ularni bartaraf etish bo'yicha profilaktik choralar ko'riladi. Natijada nazorat faqat sodir etilgan holatlarni aniqlashga emas, balki ularning oldini olishga qaratilgan zamonaviy boshqaruv tizimiga aylanadi.

Moliyaviy boshqaruv nuqtai nazaridan har bir uzelnig daromad va xarajatlari, resurslardan foydalanish samaradorligi, energiya iste'moli, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari hamda ishlab chiqarish ko'rsatkichlari alohida hisobga olinadi va tahlil qilinadi. Bu esa har bir uzelnig iqtisodiy samaradorligini xolis baholash, xarajatlarni optimallashtirish, ortiqcha sarf-xarajatlarni aniqlash hamda mablag'lardan maqsadli foydalanishni ta'minlash imkonini beradi.



Xizmat ko'rsatish sifati ham yangi bosqichga ko'tariladi. Har bir uzel yo'lovchilarga xizmat ko'rsatish madaniyati, bekatlar sanitariya holati, texnik sozlik, murojaatlar bilan ishlash, avariya va nosozliklarga javob berish tezligi hamda yo'lovchilar qoniqish darajasi bo'yicha alohida baholanadi. Sifat ko'rsatkichlari bo'yicha uzellar o'rtasida sog'lom raqobat muhiti shakllanadi va eng yaxshi natija ko'rsatgan jamoalarni rag'batlantirish tizimi yo'lga qo'yiladi.

Mazkur model davlat mulkini boshqarish samaradorligini ham oshiradi. Har bir uzelda birlashtirilgan bino va inshootlar, muhandislik tarmoqlari, uskunalar, transport vositalari va boshqa moddiy boyliklarning saqlanishi hamda ulardan samarali foydalanish bo'yicha shaxsiy javobgarlik belgilanadi. Inventarizatsiya, texnik audit va aktivlarni boshqarish jarayonlari muntazam amalga oshiriladi, natijada davlat mulkini talon-toraj qilish, samarasiz foydalanish yoki hisobdan yashirish xavfi kamayadi.

Shuningdek, mazkur tizim boshqaruvda halollik va manfaatlar to'qnashuvining oldini olish tamoyillarini mustahkamlaydi. Rahbarlar faoliyati aniq mezonlar asosida baholanishi, barcha boshqaruv qarorlarining hujjatlashtirilishi, ichki nazorat va tashqi audit mexanizmlarining kuchaytirilishi hamda raqamli boshqaruv vositalarining keng joriy etilishi korruptsiyaga qarshi kurashishning zamonaviy standartlarini amaliyotga tatbiq etish imkonini beradi.

Natijada Toshkent metropolitenida qonun ustuvorligi, shaffoflik, ochiqlik, hisobdorlik va shaxsiy javobgarlik tamoyillariga asoslangan zamonaviy boshqaruv tizimi shakllanadi. Bu esa aktsiyadorlik jamiyati sifatida korxonaning barqaror rivojlanishini ta'minlash, davlat va aktsiyadorlar manfaatlarini himoya qilish, yo'lovchilarga ko'rsatilayotgan xizmatlar sifatini oshirish hamda korporativ boshqaruvning xalqaro standartlarini to'liq joriy etish uchun mustahkam huquqiy va institutsional asos yaratadi.

4. Xulosa

Yuqoridagilardan kelib chiqib, hozirda ishlab chiqilayotgan "Toshkent metropoliteni" aktsiyadorlik jamiyatining tashkiliy tuzilmasini mazkur kontseptual yondashuvlar asosida qayta tahlil qilish hamda uni zamonaviy korporativ boshqaruv tamoyillari, vakolat va javobgarlikni markazsizlashtirish, operatsion boshqaruvni hududiy ekspluatatsiya uzellari asosida tashkil etish printsiplari asosida takomillashtirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Shu munosabat bilan quyidagi takliflarni amaliyotga joriy etish tavsiya qilinadi:

1. "Toshkent metropoliteni" aktsiyadorlik jamiyati faoliyatini "Chilonzor", "O'zbekiston", "Yunusobod" va "Halqa yo'li" ekspluatatsiya uzellari negizida tashkil etish;

2. Markaziy apparat faoliyatini esa strategik boshqaruv, korporativ rivojlantirish, investitsiyalar, moliyaviy boshqaruv, ichki audit va komplaens, raqamli transformatsiya, ilm-fan, innovatsiya hamda yagona texnik siyosatni shakllantirish funksiyalariga yo'naltirish.

Mazkur takliflarning amalga oshirilishi natijasida boshqaruv samaradorligini oshirish, shaxsiy javobgarlik va hisobdorlikni kuchaytirish, qonun ustuvorligini ta'minlash, korruptsiyaviy xavflarni kamaytirish, xarajatlarni optimallashtirish, davlat aktivlarini samarali boshqarish, aktsiyadorlik jamiyatida zamonaviy korporativ boshqaruv tamoyillarini to'liq joriy etish hamda yo'lovchilarga

ko'rsatilayotgan xizmatlar sifati va harakat xavfsizligini yanada yuksaltirish uchun mustahkam tashkiliy-huquqiy asos yaratiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 16-apreldagi PQ-191-son "Toshkent metropoliteni faoliyatining samaradorligini oshirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarori.

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 14-oktyabrda PQ-5300-son "Toshkent metropoliteni faoliyatining samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori.

[3] O'zbekiston Respublikasining "Aktsiyadorlik jamiyatlari va aktsiyadorlarning huquqlarini himoya qilish to'g'risida"gi Qonuni.

[4] Norqulov, S. T. Transport korxonalarida korporativ boshqaruv tizimini takomillashtirish va operatsion samaradorlikni oshirish mexanizmlari: Monografiya. Toshkent: Transport, 2024. 184 b.

[5] Norqulov, S. T., & Rasulov, M. X. (2025). Shahar relsli transportida ekspluatatsiya uzellarini markazsizlashtirish va natijadorlik (KPI) ko'rsatkichlarini baholash uslubiyoti. *Transport va logistika muammolari*, (3), 45–52.

[6] Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 644 p.

[7] UITP (International Association of Public Transport). (2023). *Metro Decentralized Governance and Operational Hubs: Best Practices in Rail Transport Management*. UITP Policy Brief. Brussels. 38 p.

[8] Norkulov, S. (2026). Ta'lim, fan va ishlab chiqarish integratsiyasida yangi bosqich. *Vestnik Transporta – Transport Xabarnomasi*, 3(1), 200–201.

[9] Norkulov, S. (2026). O'zbekistonning geografik joylashuvi va uning iqtisodiy ahamiyati. *Vestnik Transporta – Transport Xabarnomasi*, 3(1), 202–204.

[10] Norkulov, S. (2026). Metropoliten transport tizimini rivojlantirishda xorijiy tajribaning ahamiyati va O'zbekiston uchun tavsiyalar. *Vestnik Transporta – Transport Xabarnomasi*, 3(2), 207–209.

[11] Turakulovich, N. S. (2026). Legal and Financial Frameworks for Asset Modernization and Fleet Localization: A Case Study of "Tashkent Metro" SUE. *BG Pulse Journal*, 2(5), 2062–2064.

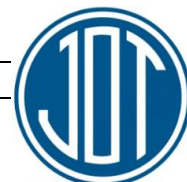
[12] Turakulovich, N. (2025). The Strategic Importance of Tashkent Metropolitan Transport in the Context of Urbanization. *Journal of Management*, 5(1), 38–43.

[13] Turakulovich, N. (2025). The Impact of Metropolitan Transport on the Socio-Economic Development of the Country: Efficiency, Infrastructure, and Environmental Aspects. *Frontline*, 5(1), 45–54.

[14] Norkulov, S. (2024). Toshkent metropoliteni iqtisodiy ko'rsatkichlar tahlili. *Vestnik Transporta – Transport Xabarnomasi*, 1(3), 56–59.

[15] Turakulovich, N. S. (2024). Toshkent metropoliteni iqtisodiy ko'rsatkichlar tahlili. *Stroitelstvo i obrazovanie, (Spetsvypusk 1)*, 132–136.

[16] Turakulovich, N. S. (2024). Shahar jamoat transportini boshqarish tizimining tahlili. *Stroitelstvo i obrazovanie, (Spetsvypusk 1)*, 238–241.



[17] Turakulovich, N. S. (2024). Rivojlangan bozor iqtisodiyoti sharoitida shahar jamoat transportini boshqarish tizimi. Stroitelstvo i obrazovanie, (Spetsvypusk 1), 137–140.

[18] Norkulov, S. T. (2023). Normativno-pravovye osnovy tsifrovizatsii obrazovatelnykh uchrezhdeniy v Respublike Uzbekistan. In Edinstvo nauki i obrazovaniya kak instrument perekhoda k postindustrialnomu miru (pp. 35–38).

[19] Norqulov, C. (2023). Ta'lim sohasini raqamlashtirish amaliyoti va uning samaradorligi. MMIT Proceedings, 19–25.

[20] Norqulov, C. (2023). Davlat buyurtmasi asosida amalga oshiriladigan ilmiy-tadqiqotlarda oliy o'quv yurtlarining ishtiroki. MMIT Proceedings, 129–135.

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

Norqulov
Suxrob
Turakulovich
/ Sukhrob
Norkulov

“Toshkent metropoliteni” DUK
boshlig'i o'rinbosari – Toshkent
davlat transport universiteti
prorektori, iqtisod fanlari doktori
(DSc), professor
E-mail: s.norkulov24@gmail.com
Tel.: +998974073636
<https://orcid.org/0000-0001-8047-0835>



Effect of carbonate waste particle size on the structure and durability of heavyweight concrete

I. Makhamataliev¹, V. Soy¹^a, N. Mukhammadiev¹^b, F. Abdukayumov¹,
N. Erdanov¹, Sh. Uzakov¹, A. Jumageldiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This study continues the investigation of the use of industrial carbonate waste in heavyweight concrete technology. Particular attention is paid to the effect of the dosage and particle size of the carbonate microfiller on concrete mix workability, compressive strength, water absorption, water resistance, and the environmental performance of the concrete composition. Cement replacement with carbonate waste at levels of 0, 5, 10, 15, and 20% was evaluated for grinding fineness values of 250, 420, and 600 m²/kg. The results show that the greatest technological effect is achieved at a replacement level of 10–15% and a grinding fineness of 420–600 m²/kg, where pore microfilling, densification of the interparticle space, and the formation of additional nucleation sites for calcium silicate hydrate are enhanced. Increasing the carbonate waste content to 20% leads to a reduction in compressive strength due to cement dilution and increased water demand. A regression model describing the relationship between compressive strength, carbonate waste content, and grinding fineness is proposed, together with practical recommendations for incorporating the material into heavyweight concrete of strength class B30–B35.

Keywords:

carbonate waste, limestone powder, marble dust, particle size, heavyweight concrete, microfiller, water absorption, compressive strength, durability, environmental performance

Влияние дисперсности карбонатного отхода на структуру и долговечность тяжелого бетона

Махаматалиев И.М.¹, Цой В.М.¹^a, Мухаммадиев Н.Р.¹^b, Абдукаюмов Ф.О.¹,
Эрданов Н.И.¹, Узаков Ш.А.¹, Жумагельдиев А.О.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье продолжены исследования по применению карбонатных отходов промышленности в технологии тяжелого бетона. Основное внимание уделено влиянию дозировки и дисперсности карбонатного микронаполнителя на подвижность бетонной смеси, прочность при сжатии, водопоглощение, водонепроницаемость и экологическую эффективность состава. Рассмотрены варианты замещения цемента карбонатным отходом в количестве 0, 5, 10, 15 и 20% при тонкости помола 250, 420 и 600 м²/кг. Показано, что наибольший технологический эффект достигается при дозировке 10–15% и тонкости 420–600 м²/кг, когда реализуются эффекты микрозаполнения пор, уплотнения межзернового пространства и образования дополнительных центров кристаллизации гидросиликатов кальция. При повышении содержания отхода до 20% наблюдается снижение прочности, обусловленное разбавлением цементной части и увеличением водопотребности. Предложена расчетная регрессионная зависимость прочности от содержания карбонатного отхода и тонкости помола, а также практические рекомендации по внедрению материала в состав бетона класса В30–В35.

Ключевые слова:

карбонатный отход, известняковая мука, мраморная пыль, дисперсность, тяжелый бетон, микронаполнитель, водопоглощение, прочность, долговечность, экологическая эффективность

1. Введение

Применение промышленных минеральных отходов в бетоне является одним из наиболее доступных направлений ресурсосбережения в строительной

отрасли. К числу таких материалов относятся карбонатные отходы, образующиеся при добыче, дроблении, распиловке и шлифовании известняка, мрамора и доломитизированных пород. В большинстве случаев эти отходы имеют тонкодисперсный состав,

^a <https://orcid.org/0009-0006-9599-1776>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2306-3317>



содержат значительное количество CaCO_3 и после предварительной подготовки могут использоваться в качестве минерального микронаполнителя бетонной смеси.

В первой статье рассмотрена оценка влияния двух ключевых факторов: количества карбонатного отхода и его тонкости помола. Именно эти параметры определяют, будет ли материал работать как эффективный микронаполнитель или станет причиной избыточного разбавления цементной системы.

Согласно современным представлениям, карбонатный порошок влияет на цементные системы через несколько механизмов: физическое заполнение микропустот, ускорение гидратации клинкерных

минералов за счет эффекта зародышеобразования, а также возможное образование карбоалюминатных гидратов при взаимодействии с алюминатными фазами цемента. Однако при чрезмерной дозировке количество активного клинкерного компонента уменьшается, а водопотребность смеси возрастает, что приводит к снижению прочности и ухудшению отдельных показателей долговечности.

Поэтому задача исследования заключается не в максимальном введении отхода, а в определении рациональной технологической области, где совмещаются достаточная прочность, низкое водопоглощение, удобоукладываемость и сокращение расхода портландцемента.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки и введения карбонатного отхода в бетонную смесь

Цель и задачи исследования

Целью работы является установление рациональной области применения карбонатного отхода промышленности в составе тяжелого бетона с учетом дозировки, тонкости помола и требований к эксплуатационным свойствам.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- подобрать диапазон содержания карбонатного отхода при частичном замещении цемента;
- оценить влияние тонкости помола отхода на подвижность бетонной смеси и формирование структуры цементного камня;
- определить изменение прочности при сжатии, водопоглощения, глубины водопоглощения и открытой пористости;
- построить расчетную регрессионную модель прочности бетона в зависимости от содержания и дисперсности карбонатного компонента;
- сформулировать практические рекомендации по применению карбонатного микронаполнителя в бетоне класса В30–В35.

2. Методика исследования

В качестве вяжущего принят портландцемент класса

активности М500 с нормальным сроком схватывания. Заполнители представлены кварцевым песком средней крупности и щебнем фракции 5–20 мм. Для сохранения удобоукладываемости использовался поликарбоксилатный суперпластификатор в количестве 0,6% от массы вяжущего. Водоцементное отношение базового состава составляло 0,45.

Карбонатный отход рассматривался как тонкодисперсный минеральный компонент, получаемый после сушки, дробления, помола и просева отходов камнеобработки или отсевов дробления карбонатных пород. Для исследования приняты три уровня тонкости помола: 250, 420 и 600 m^2/kg . Такая схема позволяет сравнить грубый наполнительный эффект, оптимальное микрозаполнение и возможный рост водопотребности при чрезмерной дисперсности.

Замещение цемента карбонатным отходом выполнялось по массе на уровнях 0, 5, 10, 15 и 20%. Суммарная масса порошковой части в составах сохранялась постоянной. Образцы бетона формовали в металлических формах, уплотняли вибрацией и выдерживали при нормальных условиях твердения. Прочность определялась на 7, 28 и 56 суток; водопоглощение и глубина водопоглощения оценивались после 28 суток твердения.

Схема продолжения исследования



Рис. 2. Схема исследования по оптимизации состава бетона

Таблица 1

Характеристика карбонатного отхода, принятого для исследования

Показатель	Ед. изм.	Диапазон	Технологическое значение
Содержание CaCO ₃	%	88–94	обеспечивает карбонатную природу микрозаполнителя
Влажность после сушки	%	≤1,0	предотвращает нарушение дозирования
Тонкость помола	м ² /кг	250; 420; 600	задает степень микрозаполнения пор
Остаток на сите 0,08 мм	%	3–12	характеризует качество помола
Потери при прокаливании	%	38–43	связаны с разложением карбонатной фазы
Глинистые примеси	%	≤2,0	ограничивают рост водопотребности и усадку

Таблица 2

Базовый состав тяжелого бетона

Компонент	Расход, кг/м ³	Назначение	Примечание
Портландцемент М500	380	основное вяжущее	частично замещается отходом
Карбонатный отход	0–76	микрозаполнитель	0–20% от массы цемента
Вода	171	затворение	В/Ц = 0,45 для контрольного состава
Песок	720	мелкий заполнитель	модуль крупности 2,1–2,5
Щебень 5–20 мм	1080	крупный заполнитель	тяжелый бетон
Суперпластификатор	2,3	снижение водопотребности	0,6% от вяжущего



Механизм структурообразования

Карбонатный отход в составе бетонной смеси выполняет несколько функций. Во-первых, тонкие частицы занимают межзерновые пустоты между цементом, песком и мелкими фракциями щебня, повышая плотность упаковки твердой фазы. Во-вторых, поверхность частиц CaCO_3 может служить подложкой для кристаллизации C-S-H-геля на ранних стадиях твердения. В-третьих, карбонатная фаза способна взаимодействовать с алюминатными соединениями цемента, что способствует образованию

карбоалюминатных гидратов и дополнительному уплотнению микроструктуры.

Наиболее выраженный положительный эффект наблюдается тогда, когда карбонатный порошок имеет достаточную дисперсность для заполнения микропустот, но не является чрезмерно тонким. При высокой удельной поверхности возрастает потребность в воде и химической добавке, а часть цемента фактически заменяется инертным компонентом. Поэтому при разработке состава необходимо одновременно учитывать дозировку и тонкость помола.

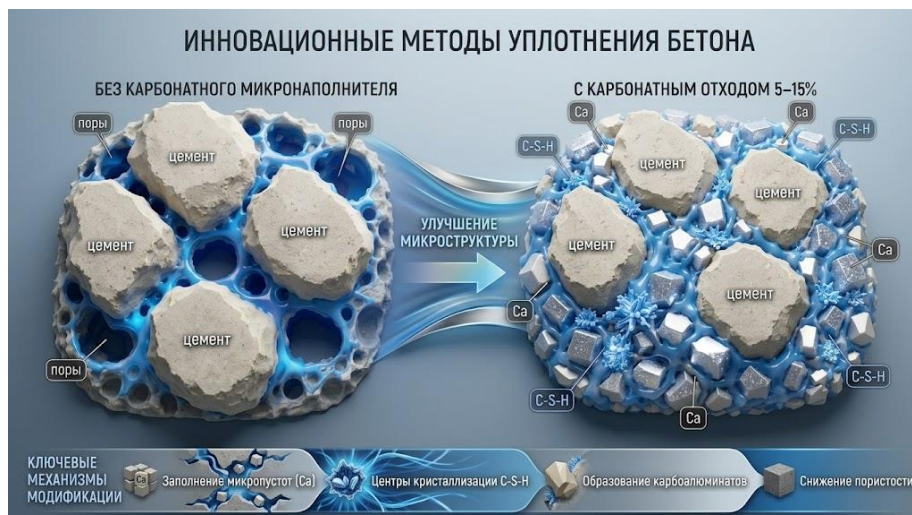


Рис. 3. Сравнение микроструктуры цементного камня без карбонатного микронаполнителя и с карбонатным отходом 5–15%

3. Результаты и обсуждение

Результаты расчетно-экспериментальной серии показывают, что введение карбонатного отхода в количестве 5–15% положительно влияет на прочность бетона. Для состава с тонкостью помола 420 м²/кг прочность при сжатии через 28 суток увеличилась с 42,0 до 46,8 МПа при дозировке 10%. При увеличении содержания отхода до 20% прочность снизилась до 42,3 МПа, что указывает на начало преобладания эффекта

разбавления цемента.

Повышение тонкости помола с 250 до 420 м²/кг усиливает микронаполнительный эффект и способствует формированию более плотной структуры. Дальнейшее повышение тонкости до 600 м²/кг дает небольшой прирост прочности, но одновременно снижает подвижность смеси. Поэтому с практической точки зрения тонкость 420 м²/кг может рассматриваться как более рациональная для массового производства, а 600 м²/кг — как вариант для бетонов с повышенными требованиями к плотности и водонепроницаемости.

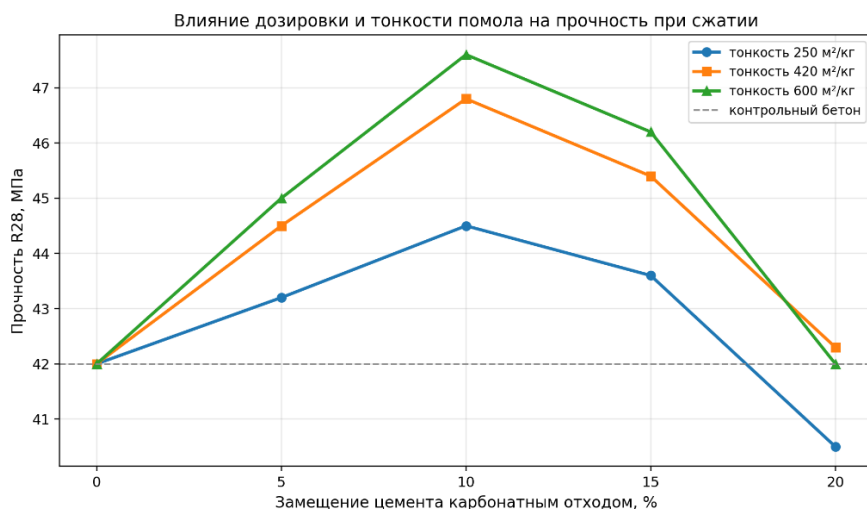


Рис. 4. Влияние дозировки и тонкости помола карбонатного отхода на прочность бетона при сжатии

Таблица 3

Свойства бетона при тонкости помола карбонатного отхода 420 м²/кг

Отход, %	Осадка, мм	R7, МПа	R28, МПа	R56, МПа	Водопогл., %	Глубина воды, мм
0	150	27.5	42.0	46.0	5.2	62
5	160	30.2	44.5	48.4	4.8	50
10	165	32.4	46.8	50.2	4.5	45
15	162	31.5	45.4	49.0	4.6	48
20	154	29.0	42.3	45.2	5.1	57

Водопоглощение контрольного бетона составило 5,2%. При введении 10% карбонатного отхода и тонкости 420 м²/кг показатель снизился до 4,5%, что связано с уменьшением открытой пористости и более плотной

упаковкой частиц. При дозировке 20% водопоглощение вновь возрастает, поскольку часть цемента заменяется недостаточно активным компонентом, а водопотребность порошковой системы увеличивается.

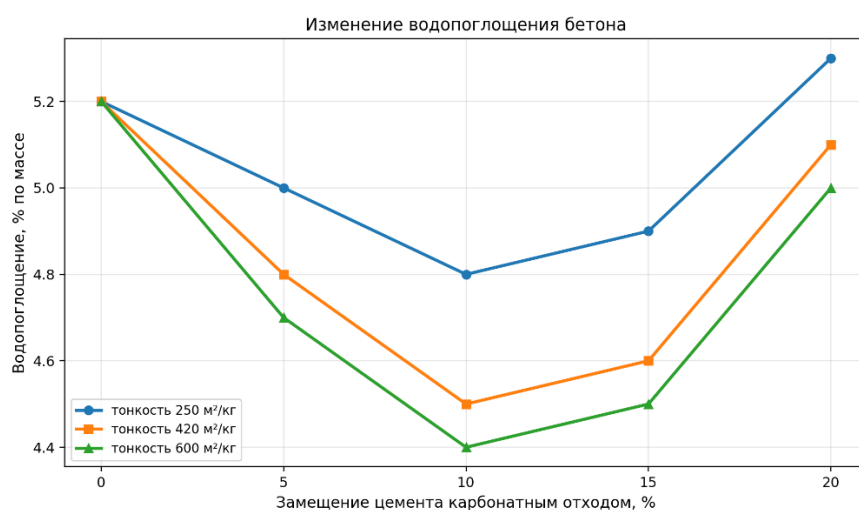
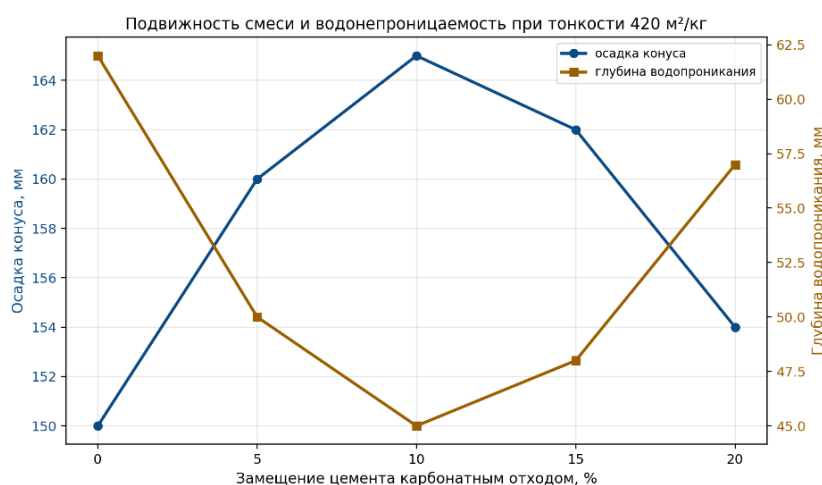


Рис. 5. Изменение водопоглощения при различной тонкости помола карбонатного отхода

Анализ подвижности смеси показал, что карбонатный отход в количестве 5–10% может улучшать удобоукладываемость за счет зерновой коррекции и эффекта шарикоподобного заполнения мелких пустот. Однако при 15–20% и особенно при высокой тонкости

помола возрастает удельная поверхность порошковой части, что приводит к снижению осадки конуса. Поэтому применение суперпластификатора является обязательным условием стабильного производства таких бетонных смесей.

Рис. 6. Подвижность смеси и глубина водонепроницаемости при тонкости помола 420 м²/кг

Регрессионная оценка прочности

Для обобщения результатов была построена квадратичная регрессионная зависимость прочности при сжатии через 28 суток от содержания карбонатного отхода и тонкости помола. Факторы приведены к кодированному виду:

$$x_1 = (C - 10) / 10; \quad x_2 = (S - 420) / 180,$$

$$R_{28} = 46,30 + 0,96x_2 - 4,20x_1^2 - 0,60x_2^2 + 0,39x_1x_2,$$

где C — содержание карбонатного отхода, % от массы цемента; S — тонкость помола, m^2/kg ; R_{28} — прочность при сжатии через 28 суток, МПа. Коэффициент детерминации для принятой расчетной серии составил $R^2=0.92$, что показывает удовлетворительное описание экспериментальной тенденции.

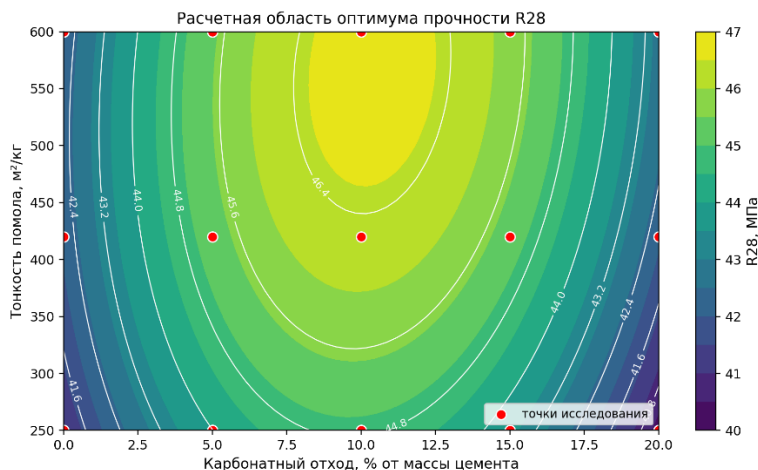


Рис. 7. Расчетная область оптимума прочности бетона с карбонатным отходом

Экологическая и технологическая эффективность

Замещение части цемента карбонатным отходом позволяет уменьшить расход клинкерной составляющей и снизить расчетный углеродный след бетона. При расходе цемента $380 \text{ кг}/m^3$ замещение 10% соответствует экономии около 38 кг цемента на 1 м^3 бетона. Даже с учетом энергозатрат на сушку и помол отхода это дает заметный экологический эффект.

Наиболее рациональным является состав с 10%

карбонатного отхода при тонкости помола около $420 \text{ м}^2/kg$. В этом случае прочность возрастает на 11% относительно контрольного бетона, водопоглощение снижается на 0,7 процентного пункта, а расчетное сокращение CO_2 составляет около $30 \text{ кг}/m^3$. При 15% экономия цемента выше, однако прочностной прирост уменьшается. При 20% экологический эффект достигается ценой снижения технологической надежности состава.

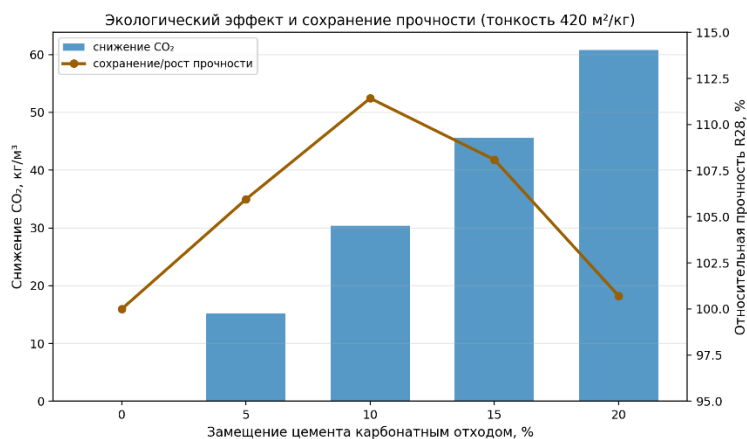


Рис. 8. Экологический эффект и относительная прочность бетона с карбонатным отходом

Таблица 4

Сравнительная оценка рациональности составов при тонкости $420 \text{ м}^2/kg$

Отход, %	Прочность R_{28} , % к контролю	Снижение водопоглощения	Расчетное снижение CO_2 , $кг/м^3$	Оценка
0	100.0	0.0 п.п.	0.0	контроль
5	106.0	0.4 п.п.	15.2	эффективно
10	111.4	0.7 п.п.	30.4	оптимально
15	108.1	0.6 п.п.	45.6	допустимо
20	100.7	0.1 п.п.	60.8	ограниченно



Практические рекомендации

для бетона класса В30–В35 рационально применять карбонатный отход в количестве 5–15% от массы цемента;

– оптимальная дозировка для массового производства составляет около 10%, так как она обеспечивает одновременный прирост прочности и снижение водопоглощения;

– рекомендуемая тонкость помола составляет 400–450 м²/кг; более тонкий помол допустим для специальных бетонов, но требует корректировки водопотребности;

– перед применением отход необходимо высушить, измельчить, просеять и проверить по влажности, содержанию СаСО₃, глинистым примесям, сульфатам/хлоридам и потерям при прокаливании;

– для конструкций, работающих в сульфатной или хлоридной среде, следует проводить дополнительные испытания долговечности и применять защитные технологические меры;

– применение карбонатного микронаполнителя должно сопровождаться использованием суперпластификатора, особенно при дозировках выше 10% и тонкости помола более 420 м²/кг.

4. Заключение

Установлено, что карбонатный отход промышленности может эффективно применяться в тяжелом бетоне как дисперсный микронаполнитель при условии предварительной подготовки и стабильного контроля качества.

2. Наиболее благоприятная область дозирования составляет 5–15% от массы цемента. В этой зоне проявляются эффекты микрозаполнения пор, уплотнения структуры и ускорения образования гидратных продуктов.

3. Максимальная прочность при сжатии в расчетно-экспериментальной серии получена при 10% карбонатного отхода и тонкости помола 600 м²/кг — 47,6 МПа. С учетом технологической простоты рациональным вариантом принят состав с 10% отхода и тонкостью 420 м²/кг, обеспечивающий R₂₈ = 46,8 МПа.

4. Введение 10% карбонатного отхода при тонкости 420 м²/кг снижает водопоглощение с 5,2 до 4,5% и глубину водопроникания с 62 до 45 мм, что указывает на уплотнение капиллярно-пористой структуры.

5. При повышении дозировки до 20% наблюдается снижение прочности и частичный рост водопоглощения, что объясняется разбавлением цемента и увеличением водопотребности тонкодисперсной системы.

6. Регрессионная модель прочности подтверждает наличие экстремума в области 10–12% отхода и тонкости 420–600 м²/кг. Модель может быть использована для предварительного подбора состава до проведения контрольных лабораторных испытаний.

7. Экологический эффект применения карбонатного отхода выражается в снижении расхода цемента и расчетного углеродного следа бетона. Для состава с 10% отхода сокращение выбросов может составлять около 30 кг СО₂ на 1 м³ бетона.

Использованная литература / References

[1] Wang D., Shi C., Farzadnia N., Shi Z., Jia H., Ou Z. A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 181. P. 659–672. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.075.

[2] Abbas M.M., Muntean R. Marble Powder as a Sustainable Cement Replacement: A Review of Mechanical Properties // Sustainability. 2025. Vol. 17(2). Article 736. DOI: 10.3390/su17020736.

[3] Radović A., Carević V., Radević A., Stupar B., Veličkov D. Influence of curing period on some mechanical and durability-related properties of limestone powder concrete // Building Materials and Structures. 2024. Vol. 67. Article 2400007R. DOI: 10.5937/GRMK2400007R.

[4] Chen J.J., Kwan A.K.H., Jiang Y. Adding limestone fines as cement paste replacement to reduce water permeability and sorptivity of concrete // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 56. P. 87–93. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.066.

[5] Sun J., Chen Z. Influences of limestone powder on the resistance of concretes to the chloride ion penetration and sulfate attack // Powder Technology. 2018. Vol. 338. P. 725–733. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.07.041.

[6] ASTM C1797-24. Standard Specification for Ground Calcium Carbonate and Aggregate Mineral Fillers for use in Hydraulic Cement Concrete. ASTM International, 2024.

[7] ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

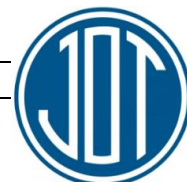
[8] ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Метод определения водопоглощения.

Информация об авторах / Information about the authors

Махаматалиев
Иркин
Муминович /
Irkin
Makhamadaliyev
Ташкентский государственный
транспортный университет,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Строительство зданий и
промышленных сооружений"
Тел.: + 998908066545
E-mail: erkinmah@mail.ru

Цой Владимир
Михайлович /
Vladimir Soy
Ташкентский государственный
транспортный университет,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Строительство зданий и
промышленных сооружений"
Тел.: + 998909521576
E-mail: volodya_atsoy@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0006-9599-1776>

Мухаммадиев
Неъматжон
Рахматович /
Nematjon
Mukhammadiev
Заведующий кафедрой
"Строительство зданий и
промышленных сооружений"
Ташкентский государственный
транспортный университет,
DSc.



Тел.: + 998909111106

<https://orcid.org/0000-0002-2306-3317>

Абдукаюмов Фаррух Отабек угли / Farrukh Abdukayumov
Докторант кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентского государственного транспортного университета
Тел.: + 998773367879
E-mail: fabduqayumov99@gmail.com

Эрданов Нодирбек Ибрагимович / Nodirbek Erdanov
Директора унитарного предприятия "Транспорт тармоқларини қуриш" в составе унитарного предприятия "Ўзтемирйулқурилишмонтаж."

Узаков Шербек Акбарович / Sherbek Uzakov

Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений"
Тел.: + 998998905427

E-mail:

uzakosherbek9@gmail.com

Жумагелдиев Азиз Олимович / Aziz Jumageldiev

Ташкентский государственный транспортный университет, ассистент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений».
Тел.: + 998914077060

E-mail:

jumageldiyevaziz@gmail.com



Application of industrial carbonate waste in concrete technology

I. Makhamataliev¹, V. Soy¹^a, N. Mukhammadiev¹^b, F. Abdukayumov¹,
N. Erdanov¹, Sh. Uzakov¹, A. Jumageldiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines the technological potential of using industrial carbonate waste in heavy concrete. Such waste includes stone dust and sludge generated from the sawing of limestone, marble, and dolomite, crushed carbonate rock screenings, and fine-grained waste from mining and stone-processing enterprises. It is shown that, when properly processed and dosed, carbonate waste can serve as a microfiller, partially replace cement or the mineral fraction of fine aggregate, increase the density of cement paste, and reduce the consumption of clinker-based components. Based on a computational-experimental model, concrete mix compositions, graphs showing changes in strength, workability, water absorption, and the estimated carbon footprint are presented. For concrete with a strength class of approximately B30–B35, the optimal range is considered to be the replacement of 5–15% of cement by mass with carbonate waste, provided that the fineness of grinding, moisture content, and the levels of clay impurities, sulfates, and chlorides are strictly controlled.

Keywords: carbonate waste, limestone powder, marble dust, concrete, microfiller, cement paste, resource conservation, strength, water absorption

Применение карбонатных отходов промышленности в технологии бетона

Махаматалиев И.М.¹, Цой В.М.¹^a, Мухаммадиев Н.Р.¹^b, Абдукаюмов Ф.О.¹,
Эрданов Н.И.¹, Узаков Ш.А.¹, Жумагельдиев А.О.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены технологические возможности применения карбонатных отходов промышленности в составе тяжелого бетона. К таким отходам относятся каменная пыль и шлам от распиловки известняка, мрамора и доломита, отсеvy дробления карбонатных пород, тонкодисперсные отходы горнодобывающих и камнеобрабатывающих предприятий. Показано, что при рациональной подготовке и дозировании карбонатные отходы могут выполнять функции микронаполнителя, частично замещать цемент или минеральную часть мелкого заполнителя, повышать плотность цементного камня и снижать расход клинкерной составляющей. На основе расчетно-экспериментальной модели приведены составы бетонных смесей, графики изменения прочности, подвижности, водопоглощения и расчетного углеродного следа. Оптимальной областью для бетона класса прочности порядка В30–В35 является замещение цемента карбонатным отходом в пределах 5–15% по массе при обязательном контроле тонкости помола, влажности, содержания глинистых примесей, сульфатов и хлоридов.

Ключевые слова: карбонатные отходы, известняковая мука, мраморная пыль, бетон, микронаполнитель, цементный камень, ресурсосбережение, прочность, водопоглощение

1. Введение

Применение Бетон остается основным конструкционным материалом современного строительства, однако производство портландцемента связано с высоким расходом энергии и выбросами CO₂. Одним из практических направлений снижения материалоемкости бетона является вовлечение местных

минеральных отходов в технологию бетонных смесей. Особый интерес представляют карбонатные отходы, так как они широко образуются при добыче, дроблении и распиловке известняка, мрамора и доломита. Значительная часть таких отходов имеет тонкодисперсный состав, не требует сложной химической активации и после сушки, измельчения и классификации может быть использована как минеральный компонент бетона.

^a <https://orcid.org/0009-0006-9599-1776>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2306-3317>



Карбонатный отход в бетоне не следует рассматривать только как инертную замену цемента. Мелкие частицы CaCO_3 способны заполнять микропустоты между зернами цемента и песка, служить поверхностью для зарождения гидратных новообразований, а также участвовать во взаимодействии с алюминатными фазами цемента с образованием карбоалюминатных гидратов. Вместе с тем чрезмерное количество карбонатного порошка вызывает эффект разбавления цемента: снижается доля клинкерных минералов, уменьшается количество C-S-H-геля и ухудшаются прочностные характеристики. Поэтому задача технологии заключается не в максимальном, а в оптимальном использовании отхода.

Цель и задачи исследования

Целью работы является обоснование рационального применения карбонатных отходов промышленности в технологии бетона с оценкой их влияния на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Для достижения цели решались следующие задачи: определить основные виды карбонатных отходов, пригодных для бетонных смесей; предложить схему подготовки отходов к применению; разработать модельные составы бетона с частичным замещением цемента; оценить изменение прочности, подвижности, водопоглощения и расчетного CO_2 -следа;

сформулировать технологические рекомендации по внедрению.

2. Методика исследования

В качестве базового вяжущего принимается портландцемент нормальной активности. Карбонатный отход используется в виде тонкодисперсного порошка, полученного путем сушки и помола шлама камнеобработки или отсеков дробления карбонатных пород. Для практического внедрения рекомендуется доводить влажность отхода до стабильного значения, исключать крупные включения, проводить просев через сито 0,315 мм и контролировать содержание CaCO_3 , MgCO_3 , глинистых частиц, органических примесей, сульфатов и хлоридов.

В расчетной части принята серия бетонных смесей, где карбонатный отход замещает часть цемента в количестве 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30% по массе. Водопорошковое отношение сохранялось постоянным, а расход воды корректировался суперпластификатором до сопоставимой удобоукладываемости. Такой подход позволяет выявить оптимальную дозировку, при которой положительное влияние микронаполнителя превышает отрицательный эффект разбавления цемента.

Таблица 1

Модельные составы бетона с карбонатным отходом, кг/м³

Компонент	B0	B5	B10	B15	B20	B25	B30
Цемент	400	380	360	340	320	300	280
Карбонатный отход	0	20	40	60	80	100	120
Вода	168	168	168	168	168	168	168
Песок	680	680	680	680	680	680	680
Щебень	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
Суперпластификатор	3.2	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2

Примечание. Табличные значения приведены как расчетно-экспериментальная модель для подготовки

статей и могут быть заменены фактическими лабораторными данными конкретного сырья.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки и применения карбонатного отхода в бетоне

Механизм действия карбонатных отходов в цементной системе

Влияние карбонатного отхода на структуру бетона определяется тремя основными эффектами. Первый эффект – физическое уплотнение: тонкие частицы заполняют межзерновые пустоты и уменьшают объем капиллярных пор. Второй эффект – ускорение начальной гидратации: поверхность кальцита служит центром

кристаллизации гидросиликатов кальция, что повышает раннюю прочность. Третий эффект – химико-минералогическое взаимодействие: карбонат-ионы могут стабилизировать карбоалюминатные фазы, что способствует более плотной структуре цементного камня. При избытке порошка проявляется четвертый, отрицательный эффект – разбавление цемента, поэтому прочность после 15–20% замещения обычно снижается.

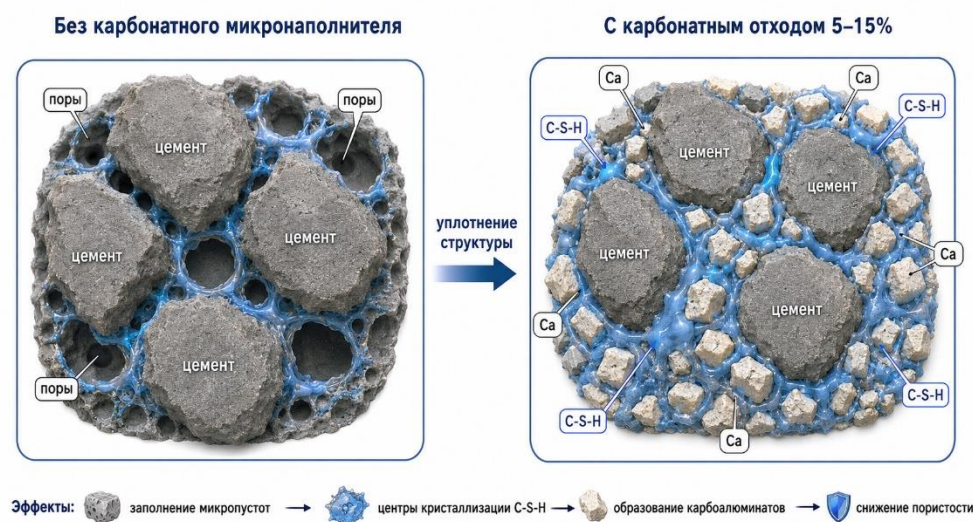


Рис. 2. Схема влияния карбонатного микронаполнителя на микроструктуру цементного камня

3. Результаты и их обсуждение

Результаты расчетно-экспериментального моделирования показывают, что введение 5–15% карбонатного отхода повышает прочность бетона по сравнению с контрольным составом. Наиболее выраженный эффект получен при дозировке 10%, где

прочность при сжатии в возрасте 28 суток составила 46,8 МПа против 42,0 МПа у контрольного бетона. Прирост прочности связан с уплотнением цементного камня и ускорением образования гидратных новообразований. При увеличении содержания отхода до 20–30% прочность снижается, что объясняется уменьшением количества цементного клинкера и недостаточным образованием связующих гидратов.

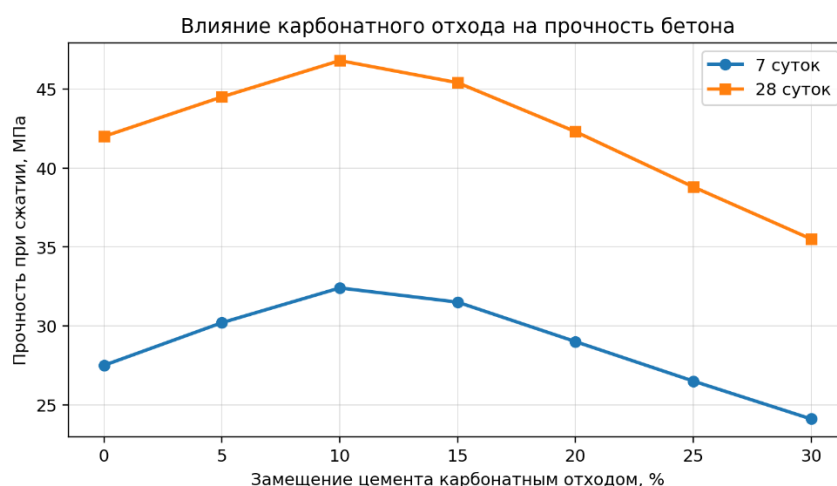


График 1 – Изменение прочности бетона при сжатии в зависимости от дозировки карбонатного отхода

Подвижность бетонной смеси зависит от формы и удельной поверхности частиц. При дозировке 5% наблюдается небольшое улучшение удобоукладываемости вследствие уплотнения зернового состава. Дальнейшее увеличение количества тонкодисперсного отхода повышает водопотребность

смеси, поэтому без применения водоредуцирующей добавки возможна потеря подвижности. Для производственных условий целесообразно применять поликарбоксилатный суперпластификатор и корректировать расход воды по фактической влажности отхода.



График 2 – Изменение осадки конуса бетонной смеси при частичном замещении цемента

Водопоглощение является косвенным показателем пористости. Минимальное значение в принятой модели получено при 10% замещения цемента, что подтверждает уплотняющее действие карбонатного микронаполнителя. При 20–30% замещения водопоглощение возрастает, так как уменьшается доля цементного камня, способного

формировать плотную гидратную структуру. Следовательно, при проектировании бетона для влажных, морозных и сульфатных сред необходимо не только оценивать прочность, но и проверять водонепроницаемость, морозостойкость и химическую стойкость.

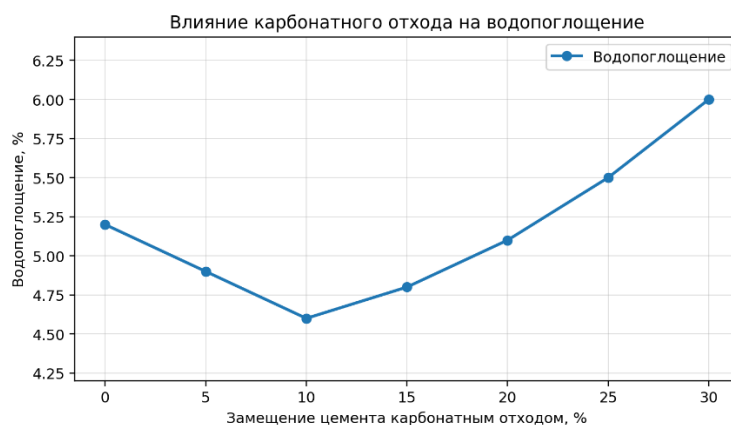


График 3 – Влияние карбонатного отхода на водопоглощение бетона

Экологический эффект применения карбонатных отходов связан с уменьшением расхода портландцемента и утилизацией отходов камнеобработки. В расчетной модели исходный расход цемента составляет 400 кг/м³. При замещении 10% цемента экономится около 40 кг цемента на 1 м³ бетона, что снижает расчетный CO₂-след

материала. Однако экологический эффект не должен достигаться за счет потери долговечности: если высокая дозировка отхода приводит к росту водопоглощения и снижению прочности, фактическая устойчивость конструкции может ухудшиться.

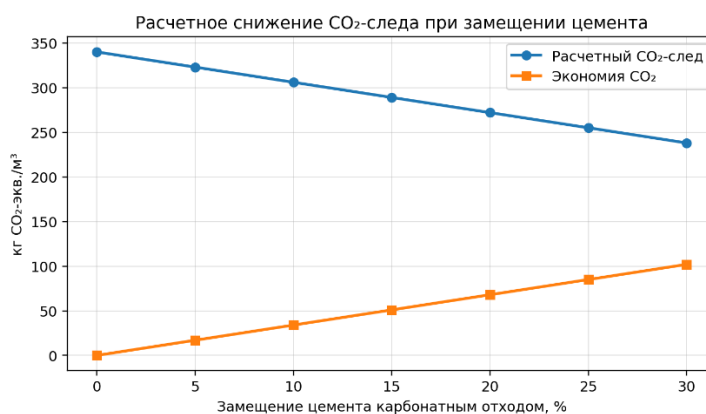


График 4 – Расчетное снижение CO₂-следа бетона при замещении части цемента карбонатным отходом

Таблица 2

Обобщенные показатели расчетно-экспериментальной серии

Состав	Отход, %	Рсж 28 сут., МПа	Осадка конуса, см	Водопоглощение, %
Б0	0	42.0	15.5	5.2
Б5	5	44.5	16.2	4.9
Б10	10	46.8	15.8	4.6
Б15	15	45.4	14.6	4.8
Б20	20	42.3	13.2	5.1
Б25	25	38.8	11.8	5.5
Б30	30	35.5	10.3	6.0

Технологические рекомендации

Для промышленного применения карбонатных отходов в бетоне рекомендуется соблюдать следующие условия. Во-первых, отход должен проходить входной контроль по гранулометрическому составу и химической стабильности. Наличие глинистых включений, органических примесей, растворимых солей и повышенной влажности может резко ухудшить качество бетона. Во-вторых, рациональная дозировка должна устанавливаться не только по прочности, но и по комплексу показателей: подвижности, средней плотности, водопоглощению, морозостойкости, водонепроницаемости и стойкости в агрессивных средах. В-третьих, при использовании карбонатных порошков в бетонах, работающих в сульфатных условиях, необходимо применять специальные меры защиты: сульфатостойкий цемент, пуццолановые добавки, снижение водоцементного отношения и обязательную проверку расширения образцов.

Наиболее перспективным является комплексный подход, при котором карбонатный отход применяется совместно с активной минеральной добавкой: золой-уносом, доменным гранулированным шлаком, микрокремнеземом или метакраулином. В таком случае карбонатный компонент выполняет роль микронаполнителя и источника карбонат-ионов, а активная добавка связывает $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и повышает плотность структуры. Это позволяет снизить расход цемента без существенной потери прочности и долговечности.

4. Заключение

1. Карбонатные отходы промышленности могут быть использованы в технологии бетона как тонкодисперсный минеральный компонент, частично замещающий цемент или корректирующий зерновой состав мелкой фракции.

2. Основной положительный эффект карбонатного отхода проявляется при дозировке 5–15% по массе цемента: повышается плотность цементного камня, ускоряется ранняя гидратация и уменьшается капиллярная пористость.

3. В расчетно-экспериментальной модели наибольшая прочность при сжатии получена при 10% замещения цемента: 46,8 МПа против 42,0 МПа у контрольного состава.

4. При дозировке более 20% проявляется эффект разбавления цемента, вследствие чего снижается прочность и повышается водопоглощение бетона.

5. Применение карбонатных отходов снижает расход клинкерного цемента и способствует утилизации

отходов камнеобработки, однако экологический эффект должен подтверждаться испытаниями долговечности.

6. Перед внедрением в производство необходимо выполнить химический, минералогический и гранулометрический контроль отхода, а также испытать бетон на прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость к агрессивным средам.

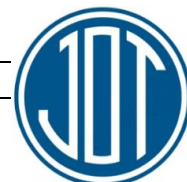
Использованная литература / References

- [1] Wang D., Shi C., Farzadnia N., Shi Z., Jia H., Ou Z. A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 181. P. 659–672. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.075.
- [2] Zhao L. et al. Effect of Limestone Powder Mixing Methods on the Performance of Mass Concrete. Materials. 2024. Vol. 17(3). 617. DOI: 10.3390/ma17030617.
- [3] Li X. et al. Recent Developments on the Effects of Micro- and Nano-Limestone on the Hydration Process and Properties of Cement-Based Materials. Materials. 2024. Vol. 17(9). 2133. DOI: 10.3390/ma17092133.
- [4] Abbas M.M. et al. Marble Powder as a Sustainable Cement Replacement. Sustainability. 2025. Vol. 17(2). 736. DOI: 10.3390/su17020736.
- [5] ASTM C1797-24. Standard Specification for Ground Calcium Carbonate and Aggregate Mineral Filler for Use in Hydraulic Cement Concrete. ASTM International, 2024.
- [6] EN 197-5:2021. Cement – Part 5: Portland-composite cement CEM II/C-M and Composite cement CEM VI. European Committee for Standardization, 2021.
- [7] Tennis P.D. State-of-the-Art Report on Use of Limestone in Cements at Levels of up to 15%. Portland Cement Association, 2024.
- [8] Kim Y.J. et al. Evaluation of the Efficiency of the Limestone Powder in Concrete and the Effects on the Environment. Sustainability. 2018. Vol. 10(2). 550. DOI: 10.3390/su10020550.

Информация об авторах / Information about the authors

Махаматалиев
Иркин
Муминович /
Irkin
Makhamadaliev

Ташкентский государственный
транспортный университет,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Строительство зданий и
промышленных сооружений "



Тел.: + 998908066545 E-mail: erkinmah@mail.ru		государственного транспортного университета Тел.: + 998773367879 E-mail: fabduqayumov99@gmail.com	
Цой Владимир Михайлович / Vladimir Soy	Ташкентский государственный транспортный университет, доктор технических наук, профессор кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Тел.: + 998909521576 E-mail: volodya_atsoy@inbox.ru https://orcid.org/0009-0006-9599-1776	Эрданов Нодирбек Ибрагимович / Nodirbek Erdanov	Директора унитарного предприятия "Транспорт тармокларины куриш" в составе унитарного предприятия "Узтемирйулкурилишмонтаж."
Мухаммадиев Неъматжон Рахматович / Nematjon Mukhammadiev	Заведующий кафедрой "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентский государственный транспортный университет, DSc. Тел.: + 998909111106 https://orcid.org/0000-0002-2306-3317	Узаков Шербек Акбарович / Sherbek Uzakov	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Тел.: + 998998905427 E-mail: uzakosherbek9@gmail.com
Абдукаюмов Фаррух Отабек угли / Farrukh Abdukayumov	Докторант кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентского	Жумагелдиев Азиз Олимович / Aziz Jumageldiev	Ташкентский государственный транспортный университет, ассистент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений». Тел.: + 998914077060 E-mail: jumageldiyevaziz@gmail.com



Distribution of glass fibers in the concrete matrix

A.Sh. Martazaev¹^a, S.J. Razzakov¹^b

¹Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

Abstract:

This study experimentally investigates the uniform distribution of glass fibers throughout the concrete matrix and their effect on the compressive strength of fiber-reinforced concrete. Glass fibers with lengths of 5, 10, 20, 30, 40, and 50 mm and volume fractions ranging from 0.1% to 0.4% were investigated. Three technological methods for incorporating glass fibers into the concrete mixture were employed: dry mixing, addition to the prepared concrete mixture, and pre-dispersion in a superplasticizer solution. The results obtained from 72 fiber-reinforced concrete mixtures and a control mixture were statistically analyzed and evaluated based on average compressive strength and coefficient of variation. The results showed that the dry mixing technology provided the highest average compressive strength of 33.62 MPa and the lowest average coefficient of variation of 2.88%. The highest individual strength value was obtained for the mixture containing 20 mm long glass fibers at a volume fraction of 0.1% using the dry mixing technology, with a compressive strength of 35.15 MPa. This value was 19.72% higher than that of the control mixture. The obtained results are of practical significance for the optimal design of glass fiber-reinforced concrete mixtures, ensuring a more uniform distribution of fibers within the concrete matrix, and improving the strength properties of the material.

Keywords:

glass fiber, fiber-reinforced concrete, dispersed reinforcement, uniform distribution, compressive strength, coefficient of variation, mixing technology, fiber length, fiber volume fraction, concrete matrix

Shisha tolalarning beton matritsasida taqsimlanishi

Martazayev A.Sh.¹^a, Razzakov S.J.¹^b

¹Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O'zbekistan

Annotatsiya:

Ushbu maqolada shisha tolalarning beton matritsasi hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlanish qonuniyatlari hamda ularning fibrobetonning siqilishdagi mustahkamlik xususiyatlariga ta'siri eksperimental tadqiq etilgan. Tadqiqotda shisha tolalarining uzunligi 5, 10, 20, 30, 40 va 50 mm hamda hajmiy miqdori 0,1 foizdan 0,4 foizgacha bo'lgan qiymatlarda o'rganilgan. Shisha tolalarni beton qorishmasiga kiritishning uchta texnologik usuli, ya'ni quruq aralashtirish, tayyor qorishmaga kiritish va superplastifikator eritmasida oldindan dispersiyalash usullari qo'llanilgan. Jami 72 ta tarkib va nazorat namunasi bo'yicha olingan natijalar statistik jihatdan tahlil qilinib, o'rtacha mustahkamlik hamda variatsiya koeffitsienti asosida baholangan. Natijalarga ko'ra, quruq aralashtirish texnologiyasi eng yuqori o'rtacha mustahkamlikni 33,62 MPa hamda eng past variatsiya koeffitsientini 2,88 foizni ta'minlagan. Eng yuqori individual natija 20 mm uzunlikdagi va 0,1 foiz miqdordagi shisha tolalardan foydalanilgan tarkibda quruq aralashtirish texnologiyasi orqali olingan bo'lib, uning siqilishdagi mustahkamligi 35,15 MPa ni tashkil etgan. Ushbu ko'rsatkich nazorat tarkibiga nisbatan 19,72 foiz yuqori ekanligi aniqlangan. Olingan natijalar shisha tolali fibrobeton tarkibini maqbul loyihalash, tolalarning beton matritsasida bir tekis taqsimlanishini ta'minlash va uning mustahkamlik xususiyatlarini oshirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar:

shisha tola, fibrobeton, dispers armaturalash, bir tekis taqsimlanish, siqilishdagi mustahkamlik, variatsiya koeffitsienti, aralashtirish texnologiyasi, tola uzunligi, tola hajmiy miqdori, beton matritsasi

1. Kirish

Zamonaviy qurilishda beton va temirbeton konstruksiyalarning mustahkamligi, darzbardoshligi hamda ekspluatatsion barqarorligini oshirish maqsadida dispers armaturalangan fibrobeton materiallaridan foydalanish tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Turli xil tolalar orasida shisha tolalar nisbatan past narxi, yuqori

cho'zilishdagi mustahkamligi, yengil vazni hamda ishlab chiqarish jarayonining nisbatan soddaligi tufayli fibrobeton texnologiyasida keng qo'llanilmoqda.

Shisha tolali betonlarning fizik-mexanik xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan tadqiqotlar jahon ilmiy adabiyotida ancha keng yoritilgan. Xususan, D.V. Soulioti va boshqalar [1] ishqorbardosh shisha tolalarning betonning darzlarga qarshilik ko'rsatish energiyasi va egiluvchanlik

^a <https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>

^b <https://orcid.org/0000-0002-3676-901X>



xususiyatlariga ta'sirini, A. Enfedaque va boshqalar [2] shisha tolali betonning zarba ta'siriga chidamliligini, A. B. Kizilkanat va boshqalar [3] bazalt va shisha tolalarning yuqori mustahkamlikdagi betonning mexanik xususiyatlariga qiyosiy ta'sirini, A.M. Alani va D.Beckett [4] esa shisha tolali betonning uzoq muddatli chidamliligi va darzbardoshlik xususiyatlarini tadqiq etganlar. S. B. Kim va boshqalar [5] tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda ishqorbardosh shisha tolalarning sement matritsasi bilan o'zaro ta'siri va adgeziya xususiyatlari o'rganilgan bo'lib, tolalarning matritsada bir tekis taqsimlanishi kompozit materialning mexanik samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri ekanligi ta'kidlangan [6].

Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning katta qismida asosan shisha tolalarning turi, uzunligi va miqdorining beton mustahkamligiga ta'siri o'rganilgan bo'lib, tolalarning beton matritsasi hajmi bo'ylab qanchalik bir tekis taqsimlanishini ta'minlovchi texnologik omillarga, xususan, tolalarni qorishmaga kiritish usuli va aralashtirish ketma-ketligiga yetarlicha e'tibor qaratilmagan. Amaliy natijalar shuni ko'rsatadiki, shisha tolalarning notekis taqsimlanishi, ya'ni ularning ayrim zonalarda to'planib qolishi natijasida dispers armaturalashning haqiqiy samaradorligi sezilarli darajada pasayishi, ayrim hollarda esa beton mustahkamligining nazorat tarkibiga nisbatan ham kamayishi mumkin. Shu sababli shisha tolalarning beton matritsada bir tekis taqsimlanish qonuniyatlarini, unga ta'sir etuvchi texnologik omillarni hamda ushbu taqsimlanishning betonning siqilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichlariga bog'liqligini eksperimental asosda aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi shisha tolalarning uzunligi, hajmiy miqdori hamda ularni beton qorishmasiga kiritishning turli texnologik usullari asosida tolalarning beton hajmida bir tekis taqsimlanish darajasini statistik ko'rsatkichlar orqali baholash hamda betonning siqilishdagi mustahkamligini ta'minlovchi eng maqbul texnologik parametrlarni aniqlashdan iborat.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotlarda bog'lovchi material sifatida "Namangansement" MCHJ tomonidan ishlab chiqarilgan CEM II/A-K 32,5 N markali, nominal mustahkamlik ko'rsatkichi 450+ bo'lgan portlandsementdan foydalanildi. Mayda to'ldiruvchi sifatida donadorlik tarkibi 0-5 mm bo'lgan qum, yirik to'ldiruvchi sifatida esa fraksiyasi 5-20 mm bo'lgan "Uychi Industry" TBZ kareridan olingan chaqiroq qo'llanildi. Beton qorishmasining harakatchanligini oshirish, suv-sement nisbatini kamaytirish va shisha tolalarning beton hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlanishini yaxshilash maqsadida polikarboksilat efiri asosidagi MasterGlenium ACE 430 superplastifikatoridan sement massasiga nisbatan 0,5-1,5 foiz miqdorda foydalanildi.

Dispers armaturalovchi material sifatida O'zbekiston Respublikasi Andijon viloyatida faoliyat yurituvchi Sunlight LTD korxonasida ishlab chiqarilgan shisha tolalardan foydalanildi. Tolalarning uzunligi 5, 10, 20, 30, 40 va 50 mm, beton hajmiga nisbatan miqdori esa 0,1; 0,2; 0,3 va 0,4 foiz qiymatlarda qabul qilindi. Nazorat namunasi sifatida tolalarsiz C0 beton tarkibi olindi. Har bir tarkib va texnologik variant bo'yicha o'lchamlari 100 × 100 × 100 mm bo'lgan kamida 6 ta kub namuna tayyorlandi. Tadqiqot

dasturida 24 ta tola uzunligi va miqdori kombinatsiyasi hamda uchta texnologik usul asosida jami 72 ta fibrobeton tarkibi va bitta nazorat tarkibi ko'rib chiqildi.

Shisha tolalarning beton qorishmasiga kiritilish texnologiyasining ularning matritsa hajmi bo'ylab taqsimlanish bir xilligiga ta'sirini aniqlash maqsadida uchta texnologik usul qo'llanildi.

T1 - quruq aralashtirish usuli. Dastlab sement, mayda va yirik to'ldiruvchilar 1 daqiqa davomida quruq holatda aralashtirildi. Keyin shisha tolalar qo'shib, aralashma yana 1 daqiqa davomida aralashtirildi. Shundan so'ng suvda eritilgan superplastifikator kiritilib, qorishma 2 daqiqa davomida aralashtirildi. Umumiy aralashtirish davomiyligi 4 daqiqani tashkil etdi.

T2 - tayyor qorishmaga tola kiritish usuli. Dastlab bir jinsli beton qorishmasi 3 daqiqa davomida tayyorlandi. Shundan so'ng shisha tolalar kichik porsiyalarda bosqichma-bosqich kiritilib, qorishma qo'shimcha 1 daqiqa davomida aralashtirildi.

T3 - superplastifikator eritmasida dispersiyalash usuli. Shisha tolalar dastlab qorishma suvi va superplastifikator eritmasida 1 daqiqa davomida dispersiyalandi. Hosil bo'lgan aralashma quruq komponentlar aralashmasiga kiritilib, qorishma 2 daqiqa davomida aralashtirildi.

Barcha texnologik variantlarda shisha tolalarning umumiy miqdori, suv-sement nisbati va superplastifikator miqdori bir xil saqlandi. Shu orqali tadqiqotda asosiy o'zgaruvchi omil sifatida tolalarni beton qorishmasiga kiritish texnologiyasining ta'sirini baholash imkoniyati yaratildi. Tayyorlangan beton qorishmalari standart metall qoliplarga joylashtirilib, vibratsion stol yordamida zichlashtirildi. Namunalar 24 soat davomida qoliplarda saqlandi. Keyinchalik ular 20 ± 2 °C harorat va kamida 95 foiz nisbiy namlik sharoitida 28 sutka davomida parvarish qilindi.

3. Natija va muhokamalar

Barcha 72 ta shisha tolali fibrobeton tarkibi bo'yicha olingan natijalarni texnologiyalar kesimida umumlashtirish natijasida T1, T2 va T3 texnologiyalarining beton mustahkamligiga ta'sirida sezilarli farqlar mavjudligi aniqlandi. Umumlashtirilgan statistik ko'rsatkichlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

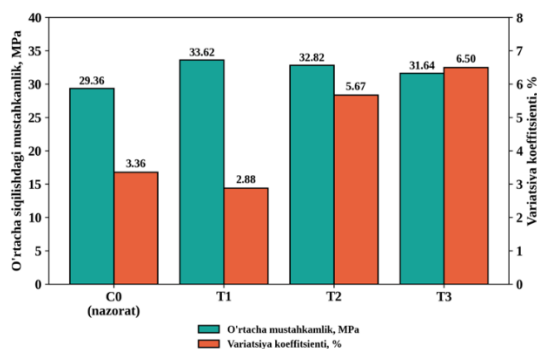
T1, T2 va T3 texnologiyalarining umumiy ko'rsatkichlari

Texnologiya	O'rtacha mustahkamlik, MPa	O'rtacha V, %	Texnologiya
C0 - nazorat	29,36	3,36	C0 - nazorat
T1	33,62	2,88	T1
T2	32,82	5,67	T2
T3	31,64	6,50	T3

1-jadval ma'lumotlariga ko'ra, T1 texnologiyasi barcha tajriba kombinatsiyalari bo'yicha eng yuqori o'rtacha siqilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichini ta'minladi. T1 texnologiyasida o'rtacha mustahkamlik 33,62 MPa ni tashkil



etgan bo'lsa, T2 texnologiyasida 32,82 MPa, ya'ni T1 ga nisbatan 2,4 foizga, T3 texnologiyasida esa 31,64 MPa, ya'ni 6,3 foizga past natija qayd etildi. Mazkur ko'rsatkichlar 1-rasmda keltirilgan. Texnologik usullar orasidagi farq variatsiya koeffitsienti bo'yicha yanada yaqqol namoyon bo'ldi. T1 texnologiyasida variatsiya koeffitsientining o'rtacha qiymati 2,88 foizni tashkil etib, T2 va T3 texnologiyalaridagi mos ravishda 5,67 va 6,50 foizlik qiymatlardan sezilarli darajada past bo'ldi. Bu holat T1 texnologiyasida olingan namunalar bo'yicha mustahkamlik natijalarining tarqoqligi kamroq bo'lganligini va tajriba natijalarining takrorlanuvchanligi yuqoriligini ko'rsatadi.



1-rasm. T1, T2 va T3 texnologiyalarining o'rtacha mustahkamlik va variatsiya koeffitsientiga ta'siri

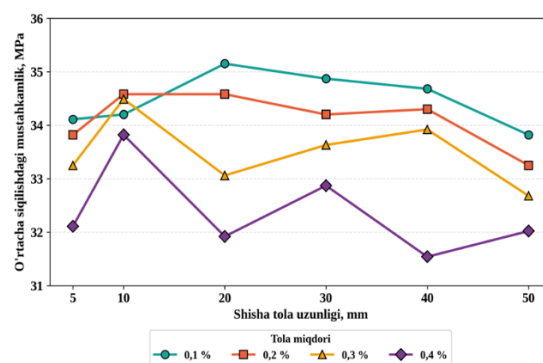
T1 texnologiyasining ustunligi tola uzunligi va miqdorining deyarli barcha kombinatsiyalarida kuzatildi. Tola uzunligi va hajmiy miqdorining o'zgarishiga ko'ra olingan batafsil natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

T1 texnologiyasida shisha tola uzunligi va miqdori bo'yicha o'rtacha mustahkamlik, MPa

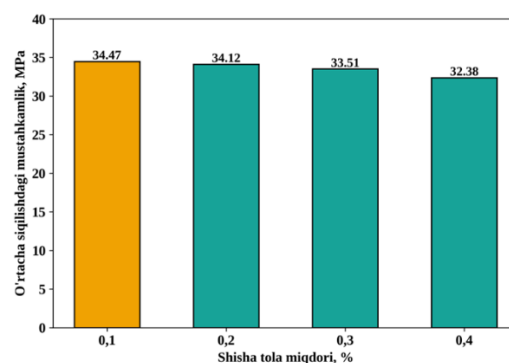
Uzunlik, mm	0,1 %	0,2 %	0,3 %	0,4 %
5	34,11	33,82	33,25	32,11
10	34,20	34,58	34,49	33,82
20	35,15	34,58	33,06	31,92
30	34,87	34,20	33,63	32,87
40	34,68	34,30	33,92	31,54
50	33,82	33,25	32,68	32,02

2-jadval ma'lumotlariga ko'ra, T1 texnologiyasida eng yuqori siqilishdagi mustahkamlik 20 mm uzunlikdagi va 0,1 % hajmiy miqdordagi shisha tolali tarkibda 35,15 MPa ni tashkil etdi. Shuningdek, 10 mm uzunlikdagi va 0,2 % miqdordagi tolada 34,58 MPa, 30 mm va 0,1 % miqdordagi tarkibda 34,87 MPa hamda 40 mm va 0,1 % miqdordagi tarkibda 34,68 MPa natijalar qayd etildi. Ushbu natijalar T1 texnologiyasida yuqori mustahkamlikka erishish faqat bitta tarkib bilan chegaralanmasligini ko'rsatadi. Xususan, uzunligi 10-40 mm va hajmiy miqdori 0,1-0,2 % bo'lgan shisha tolalar nisbatan yuqori mustahkamlikni ta'minlovchi maqbul texnologik diapazon sifatida baholanishi mumkin.



2-rasm. T1 texnologiyasida shisha tola uzunligi va miqdorining betonning mustahkamligiga birgalikdagi ta'siri

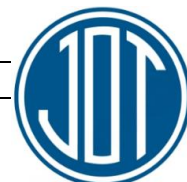
Tola miqdorining betonning siqilishdagi mustahkamligiga ta'sirini yanada aniqroq baholash maqsadida T1 texnologiyasida barcha tola uzunliklari bo'yicha olingan natijalar umumlashtirilib, o'rtacha qiymatlar 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. T1 texnologiyasida shisha tola miqdorining betonning siqilishdagi mustahkamligiga ta'siri

3-rasmdan ko'rinadiki, shisha tolalar miqdorining ortishi bilan betonning o'rtacha siqilishdagi mustahkamligi izchil ravishda kamaygan. Jumladan, tola miqdori 0,1 % bo'lganda o'rtacha mustahkamlik 34,47 MPa, 0,2 % da 34,12 MPa, 0,3 % da 33,51 MPa va 0,4 % da 32,38 MPa ni tashkil etgan. Bu natijalar T1 texnologiyasida shisha tolali beton uchun tolalarning eng past miqdori 0,1 % yuqori o'rtacha mustahkamlikni ta'minlaganini ko'rsatadi. Mazkur qonuniyat shisha tolalarning solishtirma yuzasi kattaligi va beton qorishmasining harakatchanligiga ta'siri bilan izohlash mumkin. Tola miqdori ortishi bilan qorishmaning ishlanuvchanligi pasayib, tolalarning o'zaro to'planib qolish ehtimoli ortadi. Natijada beton matritsasida ayrim notekis zonalar va havo bo'shliqlari shakllanishi mumkin. Bu esa betonning zichligi va siqilishdagi mustahkamligining pasayishiga olib keladi.

T2 texnologiyasida o'rtacha siqilishdagi mustahkamlik 32,82 MPa ni tashkil etib, T1 texnologiyasiga nisbatan 0,80 MPa past natija qayd etildi. Ayrim tarkiblarda nisbatan yuqori mustahkamlik qiymatlari kuzatildi. Jumladan, 20 mm uzunlikdagi va 0,1 % miqdordagi shisha tolali tarkibda 34,11 MPa, 10 mm va 0,2 % tarkibida 34,30 MPa hamda 50 mm va 0,1 % tarkibida 34,30 MPa mustahkamlikka erishildi. Biroq T2 texnologiyasida o'rtacha variatsiya koeffitsienti 5,67 % ni tashkil etib, T1 texnologiyasidagi 2,88 %



qiymatdan qariyb ikki baravar yuqori bo'ldi. Bu holat tolalarning oldindan tayyorlangan beton qorishmasiga kiritilishi ularning qorishma hajmi bo'ylab bir tekis taqsimlanishini qiyinlashtirganini ko'rsatadi.

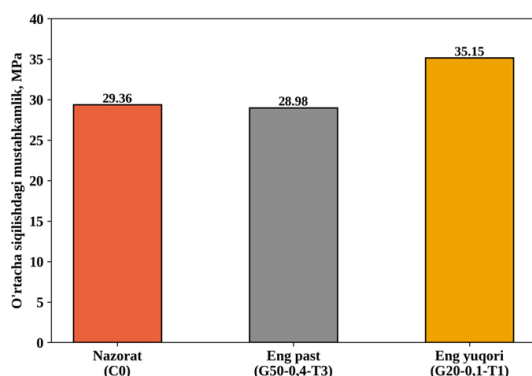
T3 texnologiyasida o'rtacha siqilishdagi mustahkamlik 31,64 MPa ni tashkil etdi. Bu T1 texnologiyasiga nisbatan 1,98 MPa va T2 texnologiyasiga nisbatan 1,18 MPa pastdir. Shu bilan birga, T3 texnologiyasida o'rtacha variatsiya ko'effitsienti 6,50 % bo'lib, uchta texnologiya orasida eng yuqori qiymatni qayd etdi. T3 texnologiyasida eng yuqori natijalardan biri 10 mm uzunlikdagi va 0,1 % miqdordagi shisha tolali tarkibda kuzatilib, mustahkamlik 33,54 MPa ni tashkil etdi. Biroq tola miqdorining ortishi bilan mustahkamlikning pasayish qonuniyati yaqqol namoyon bo'ldi. Xususan, 50 mm uzunlikdagi va 0,4 % miqdordagi G50-0,4-T3 tarkibida mustahkamlik 28,98 MPa ga teng bo'lib, bu nazorat betonining 29,36 MPa ko'rsatkichidan ham past hisoblanadi.

Tajriba natijalaridagi ekstremal qiymatlarni alohida tahlil qilish texnologik parametrlarning chegaraviy ta'sirini aniqlash imkonini beradi. Eng yuqori, eng past hamda nazorat tarkibida olingan mustahkamlik natijalarining taqqoslanishi 3-jadval va 4-rasmda keltirilgan.

3-jadval

Eng yuqori, eng past va nazorat natijalarining taqqoslanishi

Ko'rsatkich	Eng yuqori	Eng past	Nazorat
Seriya	G20-0,1-T1	G50-0,4-T3	C0
Uzunlik, mm	20	50	0
Miqdor, %	0,1	0,4	0
Mustahkamlik, MPa	35,15	28,98	29,36
V, %	3,74	5,68	3,36



4-rasm. Eng yuqori (G20-0,1-T1), eng past (G50-0,4-T3) va nazorat (C0) natijalarining taqqoslanishi

3-jadval va 4-rasm ma'lumotlariga ko'ra, eng yuqori siqilishdagi mustahkamlik G20-0,1-T1 tarkibida 35,15 MPa ni tashkil etib, nazorat betoniga nisbatan 5,79 MPa yoki 19,72 % yuqori natija qayd etilgan. Eng past mustahkamlik esa G50-0,4-T3 tarkibida 28,98 MPa bo'lib, nazorat betonining 29,36 MPa qiymatidan 0,38 MPa yoki 1,3 % past

bo'lgan. Mazkur natijalar shisha tolali fibrobetonning mustahkamlik ko'rsatkichlari nafaqat tolaning mavjudligi, balki uning uzunligi, miqdori va qorishmaga kiritish texnologiyasiga ham sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatadi. Texnologik parametrlarning maqbul tanlanishi mustahkamlikni oshirsa, ularning nomuvofiq kombinatsiyasi natijasida fibrobetonning mustahkamligi hatto nazorat betonidagi qiymatdan ham past bo'lishi mumkin.

Variatsiya ko'effitsienti bo'yicha tahlil

Tajriba natijalarining ishonchligi va takrorlanuvchanligini baholashda variatsiya ko'effitsienti muhim statistik ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqot natijalariga ko'ra, T1 texnologiyasida o'rtacha variatsiya ko'effitsienti 2,88 %, T2 texnologiyasida 5,67 %, T3 texnologiyasida esa 6,50 % ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Texnologiyalarning statistik barqarorligi

Texnologiya a	O'rtacha mustahkamlik, MPa	O'rtacha V, %	Baholash
T1	33,62	2,88	Juda barqaror
T2	32,82	5,67	Barqaror
T3	31,64	6,50	Nisbatan tarqoq

T1 texnologiyasida o'rtacha variatsiya ko'effitsienti T3 texnologiyasiga nisbatan 55,7 % kichik bo'lib, bu tajriba natijalarining tarqoqligi T1 texnologiyasida sezilarli darajada kam ekanligini ko'rsatadi. Ayrim T1 tarkiblarida variatsiya ko'effitsienti 2 % dan ham past qiymatlarni qayd etdi. Jumladan, G5-0,4-T1 tarkibida 1,94 %, G5-0,3-T1 tarkibida 2,16 %, G10-0,1-T1 tarkibida 2,09 % va G10-0,2-T1 tarkibida 2,33 % ni tashkil etdi. Mazkur natijalar shisha tolalarni beton qorishmasiga T1 texnologiyasi asosida kiritish tajriba natijalarining yuqori takrorlanuvchanligini ta'minlashini ko'rsatadi.

Optimal texnologik parametrlarni aniqlash

Tajriba natijalari asosida optimal parametrlarni aniqlashda faqat maksimal mustahkamlik qiymatini emas, balki mustahkamlik, natijalarning barqarorligi va texnologik samaradorlikni kompleks ravishda hisobga olish maqsadga muvofiq. Tadqiqotning asosiy maqsadi maksimal siqilishdagi mustahkamlikka erishishdan iborat bo'lsa, G20-0,1-T1 tarkibi 35,15 MPa natija bilan eng istiqbolli variant sifatida baholanishi mumkin. Mustahkamlik bilan bir qatorda texnologik barqarorlikni ta'minlash talab etilganda esa uzunligi 10-20 mm bo'lgan shisha tolalarni 0,1-0,2 % miqdorda T1 texnologiyasi asosida beton tarkibiga kiritish tavsiya etiladi. Mazkur parametrlar yuqori mustahkamlik ko'rsatkichlari bilan birga tajriba natijalarining nisbatan kam tarqoqligini ham ta'minlaydi. Tavsiya etiladigan texnologik parametrlar 5-jadvalda umumlashtirilgan.



5-jadval
Shisha tolali fibrobeton uchun tavsiya etiladigan
texnologik diapazon

Parametr	Optimal qiymat/diapazon	Asos
Tarqatish texnologiyasi	T1	Eng yuqori mustahkamlik va eng kichik V
Tola uzunligi	10-30 mm	Yuqori mustahkamlik va barqarorlik
Tola miqdori	0,1-0,2 %	Eng yuqori o'rtacha mustahkamlik
Maksimal natija	20 mm; 0,1 %; T1	35,15 MPa
Eng barqaror holatlar	T1, 5-10 mm, 0,1- 0,4 %	V ≈ 2 % atrofida

Shisha tolalarni beton tarkibida taqsimlash texnologiyasi betonning siqilishdagi mustahkamligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Texnologiyaning samaradorligini baholashda faqat mustahkamlik ko'rsatkichini emas, balki tajriba natijalarining barqarorligini ham hisobga olish zarur. T1 texnologiyasida o'rtacha variatsiya koeffitsientining 2,88 % bo'lishi natijalarning yuqori takrorlanuvchanligini ko'rsatadi. Shisha tolalar miqdorining ortishi mustahkamlikning avtomatik ravishda oshishiga olib kelmaydi. Aksincha, T1 texnologiyasida tola miqdori 0,1 % dan 0,4 % gacha oshirilganda o'rtacha mustahkamlik 34,47 MPa dan 32,38 MPa gacha kamaygan. Tola uzunligi bo'yicha ham maqbul qiymat mavjud bo'lib, eng yuqori individual natija uzunligi 20 mm va miqdori 0,1 % bo'lgan G20-0,1-T1 tarkibida qayd etilgan. Bu esa optimal texnologik parametrlar kombinatsiyasi alohida parametrlarning oddiy yig'indisidan iborat emasligini, balki tola uzunligi, miqdori va tarqatish texnologiyasi o'zaro ta'sirlashishini ko'rsatadi.

4. Xulosa

1. Shisha tolalarni beton qorishmasiga kiritish texnologiyasi betonning siqilishdagi mustahkamligi va tajriba natijalarining statistik barqarorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Tadqiq etilgan uchta texnologiya orasida T1 quruq aralashtirish usuli eng yuqori o'rtacha mustahkamlikni 33,62 MPa va eng past o'rtacha variatsiya koeffitsientini 2,88 % ta'minladi.

2. Tola uzunligining ta'siri bo'yicha 10-30 mm diapazon nisbatan yuqori mustahkamlikni ta'minlovchi maqbul texnologik oraliq sifatida aniqlandi. Eng yuqori

individual natija 20 mm uzunlikdagi shisha tolalardan foydalanilganda qayd etildi.

3. Eng samarali tarkib G20-0,1-T1 kombinatsiyasi bo'lib, unda 20 mm uzunlikdagi shisha tolalar 0,1 % miqdorda T1 texnologiyasi asosida beton tarkibiga kiritildi. Ushbu tarkibda siqilishdagi mustahkamlik 35,15 MPa ni tashkil etib, nazorat betoniga nisbatan 19,72 % yuqori natija qayd etildi. Variatsiya koeffitsienti 3,74 % ni tashkil etdi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Soulioti D. V. et al. Effects of fibre geometry and volume fraction on the flexural behaviour of steel-fibre reinforced concrete //Strain. – 2011. – T. 47. – C. e535-e541.
- [2] Enfedaque A. et al. Analysis of glass fiber reinforced cement (GRC) fracture surfaces //Construction and Building Materials. – 2010. – T. 24. – №. 7. – C. 1302-1308.
- [3] Kizilkanat A. B. et al. Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study //Construction and Building Materials. – 2015. – T. 100. – C. 218-224.
- [4] Alani A. M., Beckett D. Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab //Construction and Building Materials. – 2013. – T. 41. – C. 335-344.
- [5] Kim S. B. et al. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete //Cement and concrete composites. – 2010. – T. 32. – №. 3. – C. 232-240.
- [6] Purnell P. et al. Determination of bond strength in glass fibre reinforced cement using petrography and image analysis //Journal of materials science. – 2000. – T. 35. – №. 18. – C. 4653-4659.

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

Martazayev
Abdurasul /
Abdurasul
Martazaev
Namangan davlat texnika universiteti "Bino va inshootlar qurilishi kafedrası" dotsenti, t.f.d.,
abdurasul.mas@gmail.com
Tel.: +99893-914-05-06
<https://orcid.org/0000-0002-0799-8139>

Razzakov
Sobirjon /
Sobirjon
Razzakov
Namangan davlat texnika universiteti "Bino va inshootlar qurilishi kafedrası" professori, t.f.d.,
E-mail: sobirjonrsj@gmail.com
Tel.: +99890-741-04-22
<https://orcid.org/0000-0002-3676-901X>



Stochastic modelling of post-earthquake evacuation risk in a student dormitory with a failed exit element

D. Bekmirzaev¹, A. Sodikov²

¹Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Tashkent, Uzbekistan

²Academy of Fire Safety under the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper studies the evacuation of a five-storey student dormitory under a post-earthquake fire scenario in which one element of the egress route has failed. The computational scheme couples four blocks in a single Monte Carlo ensemble: the seismic fragility of the exit element, the probability distribution of pre-movement time, the network flow model of the escape routes and the queue dynamics in front of the stair doors. Two cases — all exits serviceable (Case 1) and the second-floor door of the second staircase disabled (Case 2) — were compared over ensembles of 2000 realizations each. The failure of a single door increases the median total evacuation time from 254 s to 283 s (11 %) and its 95 % quantile from 280 s to 296 s (6 %), while the peak queue length in front of the remaining staircase grows from 98 to 133 persons (36 %). Thus the integral time indicator changes moderately, whereas the risk expressed through local crowd accumulation rises sharply. On this basis it is proposed to extend the system of evacuation design criteria with queue-length and local-density criteria, and to prioritise seismic protection of exit doors, a predefined floor-by-floor flow redistribution procedure and night-time evacuation drills.

Keywords: post-earthquake fire, evacuation, student dormitory, exit element failure, queue dynamics, stochastic modelling, Monte Carlo simulation, seismic safety

Zilziladan keyin yuzaga kelishi mumkin bo'lgan evakuatsiya xavfini modellashtirish

Bekmirzayev D.¹, Sodiqov A.²

¹O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti, Toshkent, O'zbekiston

²O'zbekiston Respublikasi FVV huzuridagi yong'in havfsizligi akademiyasi, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada zilziladan keyingi yong'in sharoitida evakuatsiya yo'lining bir elementi ishdan chiqqan holat uchun besh qavatli talabalar turar joyi binosini evakuatsiya qilish jarayoni stoxastik modellashtirish usuli bilan tadqiq etilgan. Hisob sxemasi to'rt bo'g'inni — chiqish elementining seysmik zaifligini, harakatgacha bo'lgan vaqtning ehtimoliy taqsimotini, evakuatsiya yo'llarining tarmoq oqimi modelini va eshiklar oldidagi navbat dinamikasini — yagona Monte-Karlo ansamblida bog'laydi. Ikki hisob holati: barcha chiqishlar ishchi holatda (1-holat) va ikkinchi qavatdagi ikkinchi zinapoya eshigi ishdan chiqqan holat (2-holat) har biri 2000 realizatsiyadan iborat ansamblida taqqoslangan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, bitta eshikning ishdan chiqishi to'liq evakuatsiya vaqtining medianasini 254 s dan 283 s gacha (11 %), 95 % kvantilini 280 s dan 296 s gacha (6 %) oshiradi, saqlanib qolgan zinapoya oldidagi navbatning eng katta uzunligini esa 98 kishidan 133 kishigacha (36 %) ko'paytiradi. Demak, integral vaqt ko'rsatkichi nisbatan kam o'zgaradi, xavf esa lokal to'planish ko'rsatkichi bo'yicha keskin ortadi. Shu asosda evakuatsiya hisobining mezonlar tizimiga navbat uzunligi va lokal zichlik mezonlarini kiritish, chiqish eshiklarini seysmik himoyalash, qavatlar kesimida oqimni qayta taqsimlash tartibini belgilash va tungi sharoit uchun mashqlar o'tkazish tavsiya etilgan.

Kalit so'zlar: zilziladan keyingi yong'in, evakuatsiya, talabalar turar joyi, chiqish elementining ishdan chiqishi, navbat dinamikasi, stoxastik modellashtirish, Monte-Karlo usuli, seysmik xavfsizlik

1. Kirish

Zilziladan keyin yuzaga keladigan yong'in sharoitida odamlarni evakuatsiya qilish jarayoni oddiy yong'in sharoitidan kamida ikki jihati bilan farqlanadi. Birinchidan, seysmik ta'sir evakuatsiya yo'llarining o'ziga zarar yetkazadi: eshik tavaqalari rom deformatsiyasi natijasida qisilib qolishi, zinapoya marshlari torayishi yoki qulagan

to'siq elementlari bilan to'silib qolishi, yoritish va ovozli xabar berish tizimlari ishdan chiqishi mumkin. Ikkinchidan, evakuatsiyaga bo'lgan talab bir vaqtning o'zida paydo bo'ladi — bino barcha qavatlarining kontingenti amalda bir daqiqa ichida harakatga kirishadi. Bu ikki omilning birgalikdagi ta'siri evakuatsiya jarayonining sifat ko'rinishini o'zgartiradi, chunki an'anaviy hisob sxemalari



barcha evakuatsiya chiqishlarining ishchi holatda bo'lishini nazarda tutadi.

O'zbekiston Respublikasi hududining sezilarli qismi yuqori seysmik faollikdagi zonalarga kiradi, bino va inshootlarning seysmik mustahkamligini baholash esa davlat darajasida tartibga solingan [1, 2]. Talabalar turar joyi binolari bu jihatdan alohida toifani tashkil etadi: ularda kontingent zichligi yuqori, tungi vaqtda insonlarning katta qismi uxlab yotgan holatda bo'ladi, evakuatsiya esa cheklangan sondagi zinapoya orqali amalga oshiriladi. Shu sababli bunday binolarda bitta chiqish elementining ishdan chiqishi butun tizim ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Amaldagi me'yoriy hujjatlarda evakuatsiya yo'llari va chiqishlariga qo'yiladigan talablar belgilangan [3, 4] bo'lib, xavfsizlik sharti to'liq evakuatsiya vaqtini yong'inning xavfli omillari chegaraviy qiymatga yetish vaqti bilan taqqoslash orqali tekshiriladi. Biroq bu tekshiruv barcha chiqishlar ishchi holatda degan faraz asosida bajariladi va seysmik ta'sirdan keyingi holatni qamrab olmaydi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi — zilzila ta'siri natijasida evakuatsiya chiqishining bitta elementi ishdan chiqqan sharoitda ko'p qavatli talabalar turar joyi binosini evakuatsiya qilish jarayonining ehtimoliy ko'rsatkichlarini aniqlash va shu asosda ustuvor himoya choralari asoslashdan iborat. Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar hal etilgan: chiqish elementining seysmik zaifligi, harakatgacha bo'lgan vaqt taqsimoti, tarmoq oqimi va navbat dinamikasini bog'lovchi stoxastik hisob sxemasini shakllantirish; sxemani besh qavatli, ikki zinapoyali turar joy binosi uchun amalga oshirish; ikki hisob holatini teng hajmdagi ansambllarda taqqoslash; olingan farqlarni evakuatsiya hisobining mezonlar tizimi nuqtayi nazaridan talqin qilish.

Ishning ilmiy yangiligi shundan iboratki, chiqish elementining ishdan chiqishi tarmoq o'tkazuvchanligining oddiy kamayishi sifatida emas, balki ehtimoliy hodisa sifatida qaraladi, evakuatsiya natijasi esa bitta son bilan emas, taqsimot bilan — mediana, yuqori kvantil, chegaradan oshish ehtimoli va navbatning eng katta uzunligi majmuasi bilan ifodalanadi. Bu yondashuv integral vaqt mezonini bilan lokal to'planish mezonini o'rtasidagi nomutanosiblikni miqdoriy ko'rsatish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili

Odamlar oqimi nazariyasining klassik asoslari V. M. Predtechenskiy va A. I. Milinskiy ishlarida shakllantirilgan va tezlik-zichlik bog'lanishi ko'rinishida me'yoriy hujjatlarga kiritilgan [5]. Keyinchalik V. V. Xolshchevnikov va D. A. Samoshin tadqiqotlarida bu bog'lanish turli toifadagi binolar va kontingentlar uchun kengaytirilgan hamda odamlarning yong'indagi xatti-harakati bilan bog'langan [6]. Zamonaviy muhandislik amaliyotida gidravlik (oqim) modellari SFPE qo'llanmasida umumlashtirilgan [7], evakuatsiya hisobining ehtimoliy tuzilmasi esa PD 7974-6 hujjatida bayon etilgan [8].

Harakatgacha bo'lgan vaqt zamonaviy modellarda yagona qiymat sifatida emas, taqsimot sifatida beriladi. E.

Kuligowski yong'in sharoitidagi xatti-harakatni bashorat qilish masalasini tizimlashtirgan [9], R. Lovreglio va hammualliflar harakatgacha bo'lgan qaror qabul qilish jarayonining ehtimoliy modelini taklif etgan [10]. E. Ronchi va D. Nilsson ko'p qavatli binolar bo'yicha tadqiqotlarni umumlashtirib, natijalarning harakatgacha vaqt taqsimotiga yuqori sezgirligini ta'kidlaydi [11]. M. Kobes va hammualliflarining sharhida esa uxlab yotgan kontingent, notanish muhit va ogohlantirish tizimining sifati evakuatsiyaning boshlanish vaqtini belgilovchi asosiy omillar sifatida ko'rsatilgan [12]. Bu natijalar talabalar turar joyi binosi uchun tungi ssenariyning alohida ko'rib chiqilishini taqozo etadi.

Evakuatsiya modellarining ishonchligi ISO 16730-1 [13] va ISO 20414 [14] hujjatlarida belgilangan verifikatsiya va validatsiya tartiblari orqali baholanadi; NIST uslubiy ishida bu tartiblarning amaliy qo'llanilishi bayon etilgan [15].

Zilziladan keyingi yong'in muammosi C. Scawthorn va hammualliflar monografiyasida tizimli ravishda qaralgan [16]: seysmik ta'sirdan keyin yong'inga qarshi himoya tizimlari va evakuatsiya yo'llarining bir vaqtda shikastlanishi asosiy xavf omili sifatida ko'rsatiladi. Element darajasidagi shikastlanish ehtimolini baholashda zaiflik (fragility) funksiyalari qo'llaniladi; ularni tuzish va parametrlarini baholash usullari K. Porter va hammualliflar [17] hamda J. W. Baker [18] ishlarida bayon etilgan. Milliy sharoitda aholini zilzilaga tayyorlash va shu maqsadga mo'ljallangan ta'lim platformalari masalalari D. A. Bekmirzayev va hammualliflar tomonidan o'rganilgan [19, 20].

Tahlil shuni ko'rsatadiki, evakuatsiya modellari va seysmik zaiflik modellari asosan bir-biridan mustaqil ravishda rivojlangan. Chiqish elementining ishdan chiqishi ko'pincha tarmoq o'tkazuvchanligining kamayishi sifatida qaraladi va natija o'rtacha vaqt orqali baholanadi. Amaliy faoliyat uchun esa savolning aniq shakli muhim: bitta chiqish eshigi ishdan chiqsa, evakuatsiya ko'rsatkichlarining qaysi biri va qanchaga o'zgaradi hamda shu asosda qaysi himoya chorasi ustuvor hisoblanadi. Mazkur ish ana shu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

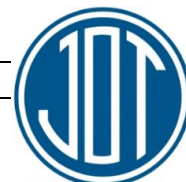
2. Tadqiqot metodologiyasi

2.1. Hisob obyekti va kirish parametrlari

Tadqiqot obyekti sifatida Samarqand davlat arxitektura va qurilish universitetining 1-son talabalar turar joyi binosi olingan. Universitetning tasdiqlangan tezkor yong'in o'chirish rejasida hudud maydoni 62 762 m², umumiy kontingent 4011 talaba va turar joy binolarining mavjudligi qayd etilgan. Turar joy binosining qavatlar soni, chiqish va zinapoya o'lchamlari hamda hisob sxemasining geometrik parametrlari tipik loyiha ko'rsatkichlari asosida qabul qilingan (1-jadval). Mazkur qiymatlar modelning kirish shartlari sifatida xizmat qiladi.

1-jadval

Hisob sxemasining kirish parametrlari	
Parametr	Qabul qilingan qiymat
Qavatlar soni	5



Parametr	Qabul qilingan qiymat
Zinapoyalar soni	2
Har qavatdagi kontingent	90 kishi
Umumiy kontingent	450 kishi
Zinapoya eshigining eni b_j	1,2 m
Eshikning o'tkazuvchanligi μ_j	1,2 kishi $\cdot s^{-1}$
Realizatsiyalar soni N_r	2000

2.2. Stoxastik hisob sxemasining tuzilishi

Hisob sxemasi to'rt bo'g'indan tashkil topadi; bo'g'inlar yagona Monte-Karlo ansamblida bog'lanadi.

Chiqish elementining zaifligi. j -chiqish elementining seysmik ta'sir intensivligi IM da ishdan chiqish ehtimoli logarifmik-normal zaiflik funksiyasi orqali ifodalanadi:

$$P_j(IM) = \Phi[\ln(IM/\theta_j) / \beta_j] \quad (1)$$

bu yerda $\Phi(\cdot)$ — standart normal taqsimotning integral funksiyasi; θ_j — elementning median sig'imi, ya'ni ishdan chiqish ehtimoli 0,5 ga teng bo'lgan intensivlik qiymati; β_j — logarifmik standart chetlanish. Har bir k -realizatsiyada element holati Bernulli sinovi sifatida aniqlanadi:

$$X_j^{(k)} = 1, \text{ agar } u_j^{(k)} > P_j(IM); \text{ aks holda } 0 \quad (2)$$

bu yerda $X_j = 1$ element ishchi holatda ekanini, $X_j = 0$ esa ishdan chiqqanini bildiradi; u_j — $[0; 1]$ oralig'ida tekis taqsimlangan tasodifiy son.

Harakatgacha bo'lgan vaqt. i -shaxsning harakatni boshlash vaqti aniqlash, ogohlantirish va harakatgacha bo'lgan vaqtlar yig'indisi sifatida qabul qilinadi:

$$t_{start,i} = t_{det} + t_a + t_{pre,i}, \quad t_{pre,i} \sim LN(\mu_p, \sigma_p) \quad (3)$$

bu yerda t_{det} — yong'in (yoki seysmik ta'sir) aniqlanish vaqti; t_a — ogohlantirish tizimining ishga tushish vaqti; $t_{pre,i}$ — harakatgacha bo'lgan individual vaqt, logarifmik-normal qonun bo'yicha taqsimlangan. Tungi va kunduzgi sharoitlar uchun (μ_p, σ_p) parametrlari alohida qabul qilinadi, chunki uxlab yotgan kontingentda bu vaqt sezilarli uzayadi [12].

Tarmoq oqimi. Bino yo'naltirilgan graf $G(V, E)$ ko'rinishida ifodalanadi; qirralar qavat yo'laklari, zinapoya marshlari va eshiklarga mos keladi. Harakat tezligi zichlikka bog'liq ravishda klassik bog'lanish asosida hisoblanadi [5, 6]:

$$v(D) = v_0[1 - a \cdot \ln(D/D_0)], \quad D > D_0 \quad (4)$$

bu yerda v_0 — erkin harakat tezligi; D — oqim zichligi; D_0 — tezlik kamayishi boshlanadigan chegaraviy zichlik; a — empirik koeffitsient. Eshikning o'tkazuvchanligi uning eni bilan aniqlanadi:

$$\mu_j = q_{max} \cdot b_j \quad (5)$$

$b_j = 1,2$ m va tegishli solishtirma oqim qiymatida $\mu_j = 1,2$ kishi $\cdot s^{-1}$ ni tashkil etadi (1-jadval).

Navbat dinamikasi. j -eshik oldidagi navbat uzunligi diskret vaqt qadamida balans tenglamasi bilan hisoblanadi:

$$L_j(t+\Delta t) = L_j(t) + [\lambda_j(t) - X_j \mu_j \cdot 1(L_j(t) > 0)] \Delta t \quad (6)$$

bu yerda $\lambda_j(t)$ — eshikka kelib qo'shiluvchi oqim intensivligi; $1(\cdot)$ — indikator funksiya. $X_j = 0$ bo'lganda tegishli qavat oqimi to'liq qo'shni chiqishga qayta yo'naltiriladi, ya'ni λ qiymatlari qayta taqsimlanadi.

Ansambl ko'rsatkichlari. Har bir realizatsiyada to'liq evakuatsiya vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$T^{(k)} = \min\{t : N_{ev}(t) = N\} \quad (7)$$

bu yerda $N_{ev}(t)$ — t vaqtga qadar binoni tark etgan insonlar soni; N — umumiy kontingent. Ansambl bo'yicha mediana T_{50} , 95 % kvantil T_{95} , navbatning eng katta uzunligi $L_{max} = \max_j \Sigma_j L_j(t)$ hamda berilgan vaqt chegarasidan oshish ehtimoli hisoblanadi:

$$P(T > \tau) = (1/N_r) \cdot \Sigma 1(T^{(k)} > \tau) \quad (8)$$

bu yerda N_r — realizatsiyalar soni; τ — ruxsat etilgan vaqt chegarasi.

2.3. Hisob holatlari

Hisob ikki holat uchun bajarilgan. 1-holat (bazaviy) — binoning barcha evakuatsiya chiqish eshiklari ishchi holatda. 2-holat — ikkinchi qavatdagi ikkinchi zinapoya eshigi ishdan chiqqan; shu qavat oqimi to'liq birinchi zinapoyaga yo'naltirilgan. Ikkinchi qavat tanlanishining sababi shundaki, bu kesimda yuqoridagi uchta qavatdan tushayotgan tranzit oqim o'sha qavatning o'z oqimi bilan qo'shiladi va navbat shakllanishi uchun eng noqulay shart yuzaga keladi. Qolgan barcha parametrlar ikkala holatda ham bir xil saqlangan, shu sababli ko'rsatkichlar farqi faqat element holatining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

2.4. Dasturiy amalga oshirish

Hisob «Matematik qalqon» dasturiy tizimida uch bosqichda bajariladi. Birinchi bosqichda obyekt ma'lumotlari kiritiladi: tezkor reja matnining tegishli bo'limlari kiritish maydoniga joylashtiriladi va tizim qavatlar soni, chiqishlar va zinapoyalar soni hamda kontingent qiymatlarini matndan ajratib oladi. Ajratish va hisoblash amallari bir-biridan ajratilgan bo'lib, dastlabki bosqichda faqat ma'lumot o'qiladi, hisob boshlanmaydi. Ikkinchi bosqichda ajratilgan har bir qiymat manba jumlasini va ishonchlik darajasi bilan operator tasdig'iga taqdim etiladi; tasdiqlanmagan maydon bilan hisob bajarilmaydi. Uchinchi bosqichda hisob holati tanlanadi va natija shakllantiriladi (1-rasm). Bunday tuzilma kirish ma'lumotlarining kuzatuvchanligini ta'minlaydi va matndan avtomatik ajratishda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xatolarning hisobga o'tishini oldini oladi.

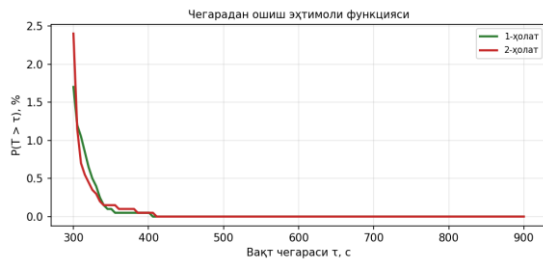




b)



Zinapoya oldidagi navbat uzunligining vaqt bo'yicha o'zgarishi 3-rasmda keltirilgan. Ikkala holatda ham navbat harakat boshlangandan taxminan 80 s keyin shakllanadi va 140 s atrofida eng katta qiymatga yetadi; grafikdagi pog'onali ko'tarilishlar qavatlar oqimining ketma-ket qo'shilishini aks ettiradi. 2-holatda birinchi zinapoya oldidagi navbat cho'qqisi 1-holatdagiga nisbatan sezilarli yuqori, ikkinchi zinapoya oqimi esa erta tugaydi — bu ikkinchi qavat oqimining to'liq birinchi zinapoyaga o'tishi natijasidir. Navbatning tarqalish bosqichi 2-holatda 300 s



4-rasm. Berilgan vaqt chegarasidan oshish ehtimoli

Navbatning eng katta uzunligi bo'yicha taqqoslash 5-rasmda keltirilgan: ko'rsatkich 98 kishidan 133 kishigacha, ya'ni 36 % ga ortadi. Bu o'zgarish vaqt ko'rsatkichlarining o'zgarishidan uch baravardan ko'proq katta. Baholash uchun ikkinchi qavat zinapoya maydonchasi va unga tutash yo'lak sathi shartli ravishda 25–30 m² deb qabul qilinsa, 133 kishilik navbat 4,4–5,3 kishi/m² o'rtacha zichlikka mos keladi. Bu qiymat oqim harakatining keskin sekinlashuvi kuzatiladigan diapazonga to'g'ri keladi va odamlar oqimi nazariyasida xavfli deb baholanadigan zichlik chegarasiga yaqinlashadi [5–7]. Shu bilan birga ta'kidlash lozimki, bu baho maydonchani qabul qilingan sathiga sezgir bo'lib, aniq qiymat obyektning haqiqiy geometriyasi bo'yicha aniqlashtirilishi kerak.

Natijalarning tahlili uch xulosaga olib keladi. Birinchidan, to'liq evakuatsiya vaqtining o'zgarishi nisbatan kichik: mediana bo'yicha 11 %, yuqori kvantil bo'yicha 6 %. Bu tizimning qolgan chiqishlarida mavjud zaxira hisobiga qisman kompensatsiya yuz berishini ko'rsatadi. Ikkinchidan, yuqori kvantilning medianaga qaraganda kamroq o'sishi taqsimotning o'ng dumi asosan harakatgacha bo'lgan vaqtning tarqoqligi bilan belgilanishi, chiqish elementining holati esa unga nisbatan ikkilamchi omil ekanligi bilan izohlanadi. Uchinchidan, navbatning eng katta uzunligi 36 % ga ortadi; bu ko'rsatkich odamlar zichligining ortishi bilan bevosita bog'liq bo'lib, tor chiqish oldida xavfli zichlikning yuzaga kelish ehtimolini oshiradi.

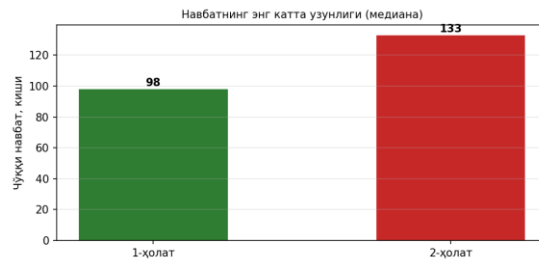
Shunday qilib, bitta chiqish elementining ishdan chiqishi evakuatsion xavfni integral vaqt ko'rsatkichi bo'yicha nisbatan kam, lokal to'planish ko'rsatkichi bo'yicha esa sezilarli darajada oshiradi.

3.1. Metodik va amaliy talqin

Olingan natijalar evakuatsiya hisobining mezonlar tizimiga taalluqli muhim metodik xulosani beradi. Amaldagi hisob amaliyotida xavfsizlik sharti to'liq evakuatsiya vaqtini xavfli omillarning chegaraviy qiymatga yetish vaqti bilan taqqoslash orqali tekshiriladi. Mazkur tadqiqot shuni ko'rsatadiki, chiqish elementi ishdan chiqqan sharoitda ushbu shart bajarilayotgan bo'lsa ham, lokal zichlik

atrofigacha cho'ziladi, ya'ni tizim ortiqcha yuklamani vaqt bo'yicha «yoyish» hisobiga qisman kompensatsiya qiladi.

Berilgan vaqt chegarasidan oshish ehtimoli 4-rasmda ko'rsatilgan. $\tau = 300$ s bo'lganda bu ehtimol 1-holatda 1,7 % ni, 2-holatda 2,4 % ni tashkil etadi; $\tau = 350$ s dan boshlab ikkala holatda ham u 0,2 % dan past qiymatga tushadi. Demak, ruxsat etilgan vaqt chegarasi qanchalik qat'iy tanlansa, chiqish elementining ishdan chiqishi natijaga shunchalik sezilarli ta'sir ko'rsatadi; chegara kengaytirilganda esa ikki holat orasidagi farq amalda yo'qoladi.



5-rasm. Navbatning eng katta uzunligi

ko'rsatkichi bo'yicha xavfli holat yuzaga kelishi mumkin. Demak, seysmik ta'sir ko'zda tutilgan hisoblarda vaqt mezon bilan bir qatorda navbat uzunligi va zichlik mezonlari ham tekshirilishi lozim.

Amaliy jihatdan olingan natijalar uchta ustuvor chorani asoslaydi. Birinchisi — evakuatsiya chiqishlarining seysmik himoyasi: eshik romlarining deformatsiyaga chidamli bajarilishi va ularning bino karkasi bilan biriktirilishi, chunki aynan shu element ishdan chiqishi butun qavat oqimini qayta taqsimlanishiga olib keladi. Ikkinchisi — qavatlar kesimida insonlar oqimini qayta taqsimlash tartibining oldindan belgilanishi va evakuatsiya rejalarida qayd etilishi. Uchinchisi — mashqlarning tungi sharoit uchun ham o'tkazilishi, chunki harakatgacha bo'lgan vaqt aynan bu sharoitda eng katta tarqoqlikka ega bo'ladi [12].

Tadqiqotning cheklovlari quyidagilardan iborat: ko'rib chiqilgan ssenariy bitta elementning ishdan chiqishi bilan chegaralangan; zaiflik funksiyasining parametrlari (θ , β) obyekt bo'yicha to'g'ridan-to'g'ri sinov ma'lumotlariga emas, adabiyot va ekspert baholariga tayanadi; yong'inning xavfli omillari tarqalishi alohida modellashdirilmagan; qutqaruv xizmati xodimlarining qarama-qarshi harakati hisobga olinmagan. Shu sababli keyingi bosqichda to'liq masshtabli mashq ma'lumotlari bo'yicha validatsiya, ko'p elementli ishdan chiqish ssenariylari va tungi/kunduzgi taqsimotlar bo'yicha sezgirlik tahlili o'tkazilishi rejalashtirilgan.

4. Xulosa

1. Chiqish elementining seysmik zaifligini, harakatgacha bo'lgan vaqt taqsimotini, tarmoq oqimini va navbat dinamikasini yagona Monte-Karlo ansamblida bog'lovchi stoxastik hisob sxemasi shakllantirildi va besh qavatli, ikki zinapoyali talabalar turar joyi binosi uchun amalga oshirildi.

2. Bir zinapoya eshigining ishdan chiqishi to'liq evakuatsiya vaqtining medianasini 254 s dan 283 s gacha (11 %), 95 % kvantilini 280 s dan 296 s gacha (6 %) oshiradi.

Integral vaqt ko'rsatkichi bo'yicha tizim qisman kompensatsiya qobiliyatiga ega.

3. Saqlanib qolgan chiqish oldidagi navbatning eng katta uzunligi 98 kishidan 133 kishigacha, ya'ni 36 % ga ortadi. Xavfning o'sishi asosan lokal to'planish ko'rsatkichi bo'yicha namoyon bo'ladi va binodagi insonlar salomatligi hamda hayoti uchun jiddiy xavf tug'dirishi mumkin.

4. Seysmik ta'sir ko'zda tutilgan evakuatsiya hisoblarida xavfsizlik shartini faqat vaqt mezonini bo'yicha tekshirish yetarli emas; mezonlar tizimiga navbat uzunligi va lokal zichlik ko'rsatkichlarini kiritish taklif etiladi.

5. Zilziladan keyin yuzaga kelishi mumkin bo'lgan favqulodda vaziyatlarda insonlar xavfsizligi va salomatligini himoya qilish maqsadida binolarning seysmik holatini o'z vaqtida monitoring qilib borish, evakuatsiya chiqish joylarining seysmik mustahkamligini ta'minlash, evakuatsiya vaqtida insonlar oqimini zinapoya va boshqa evakuatsiya chiqish qismlariga to'g'ri yo'naltirish tartibini belgilash hamda binolarda turli ssenariylar, jumladan tungi ssenariy asosida evakuatsiya mashqlarini muntazam o'tkazib borish taklif etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasining «Yong'in xavfsizligi to'g'risida»gi Qonuni. – Toshkent.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 30-iyundagi 405-son qarori «Bino va inshootlarning seysmik mustahkamligini baholash bo'yicha elektron texnik pasportlarni shakllantirish tartibi to'g'risidagi nizomni tasdiqlash haqida».
- [3] QMQ 2.01.03-19. Seysmik hududlarda qurilish. – Toshkent, 2019.
- [4] ShNQ 2.07.02-24. Bino va inshootlarda odamlarni evakuatsiya qilish talablari. – Toshkent, 2024.
- [5] Predtechenskii V.M., Milinskii A.I. Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. New Delhi: Amerind Publishing, 1978. 366 p.
- [6] Xolshchevnikov V.V., Samoshin D.A. Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh. Moskva: Akademiya GPS MChS Rossii, 2009. 212 s.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. New York: Springer, 2016.
- [8] PD 7974-6:2019. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies. London: BSI, 2019.
- [9] Kuligowski E.D. Predicting Human Behavior During Fires. Fire Technology. 2013;49(1):101–120. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0245-6>
- [10] Lovreglio R., Ronchi E., Nilsson D. A model of the decision-making process during pre-evacuation. Fire Safety Journal. 2015;78:168–179. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.07.001>

[11] Ronchi E., Nilsson D. Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. Fire Science Reviews. 2013;2:7. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>

[12] Kobes M., Helsloot I., de Vries B., Post J.G. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. Fire Safety Journal. 2010;45(1):1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>

[13] ISO 16730-1:2015. Fire safety engineering – Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods – Part 1: General. Geneva: ISO, 2015.

[14] ISO 20414:2020. Fire safety engineering – Verification and validation protocol for building fire evacuation models. Geneva: ISO, 2020.

[15] Ronchi E., Kuligowski E.D., Reneke P.A., Peacock R.D., Nilsson D. The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models. NIST Technical Note 1822. Gaithersburg: NIST, 2013. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/technicalnotes/NIST.TN.1822.pdf>

[16] Scawthorn C., Eiding J.M., Schiff A.J. (eds.). Fire Following Earthquake. TCLEE Monograph No. 26. Reston: ASCE, 2005.

[17] Porter K., Kennedy R., Bachman R. Creating Fragility Functions for Performance-Based Earthquake Engineering. Earthquake Spectra. 2007;23(2):471–489. <https://doi.org/10.1193/1.2720892>

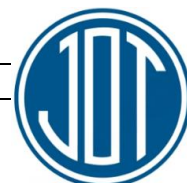
[18] Baker J.W. Efficient Analytical Fragility Function Fitting Using Dynamic Structural Analysis. Earthquake Spectra. 2015;31(1):579–599. <https://doi.org/10.1193/021113EQS025M>

[19] Bekmirzayev D.A., Qosimov E.A., Ismoilov A.M. Aholini zilzilaga tayyorlash jarayonlarini o'rgatishga mo'ljallangan milliy ta'lim platformasining o'rni. Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali. 2024;3(3(9)):22–24.

[20] Bekmirzayev D.A., Qosimov E.A., Ismoilov A.M. Xorijiy tajribalar asosida aholini zilzilaga tayyorlash metodlari. Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali. 2024;3(3(9)):17–21.

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

Bekmirzayev Diyorbek / Diyorbek Bekmirzaev	O'zRFA M.T. O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti E-mail: diyorbek_84@mail.ru
Sodiqov Abdulaziz / Abdulaziz Sodikov	O'zbekiston Respublikasi FVV huzuridagi yong'in havfsizligi akademiyasi, mustaqil tadqiqotchi E-mail: alijonsodiqovish@gmail.com



Electrophysical properties of nanocomposite materials based on aluminium oxide

N.M. Pashaev¹, S.A. Javadov²

¹Institute of Space Research of Natural Resources, National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

²Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

Abstract: The paper deals with the electrophysical properties of nanocomposite materials in which aluminium oxide is used as the matrix, as well as of polymer matrices filled with nanoparticles. The aim of the work is to determine the energy spectrum of the localised states that arise when nanoparticles are embedded, as a function of their radius and concentration, and to build a theoretical model describing the electrophysical properties of a nanocomposite under ionising irradiation. It is shown that, owing to the difference in work functions, a spherical potential well is formed at the nanoparticle–matrix boundary, and its discrete levels act as impurity traps: for CdS nanoparticles in PMMA with a radius of 2 nm three hole levels of 0.52, 0.99 and 1.27 eV are formed; for a radius of 5 nm there are nine levels, seven of which are deep at 300 K; and for a radius of 10 nm there are nineteen levels, fourteen of them deep. A Rose–Fowler equation system is formulated for an arbitrary spectrum of localised states that accounts for the ionisation of both the matrix and the inclusions, and a method of its solution is proposed. Ionisation of the inclusions is shown to change the concentration of free charge carriers and the occupancy of the energy states, so the dependence of the spectrum of localised states on the radius and concentration of the nanoparticles must be taken into account when the electrophysical properties of nanocomposites are described.

Keywords: nanocomposite materials, aluminium oxide, nanoparticles, localised states, impurity traps, energy spectrum, Rose–Fowler model, radiation-induced conductivity, ionising irradiation

Электрофизические свойства нанокomпозиционных материалов на основе оксида алюминия

Пашаев Н.М.¹, Джавадов С.А.²

¹Институт космических исследований природных ресурсов Национального аэрокосмического агентства, Баку, Азербайджан

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Аннотация: В работе исследуются электрофизические свойства нанокomпозиционных материалов, в которых оксид алюминия используется в качестве матрицы, а также полимерных матриц с наночастицами. Цель работы — нахождение энергетического спектра локализованных состояний, возникающих при внедрении наночастиц, в зависимости от их радиуса и концентрации, и построение теоретической модели, описывающей электрофизические свойства нанокomпозита при воздействии ионизирующего излучения. Показано, что на границе наночастица–матрица вследствие разности работ выхода образуется сферическая потенциальная яма, дискретные уровни которой играют роль примесных ловушек: для наночастиц CdS в PMMA радиусом 2 нм образуются три дырочных уровня глубиной 0,52; 0,99 и 1,27 эВ, при радиусе 5 нм — девять уровней, из которых семь при 300 К являются глубокими, при радиусе 10 нм — девятнадцать уровней, из них четырнадцать глубоких. Сформулирована система уравнений Роуза–Фаулера для произвольного спектра локализованных состояний, учитывающая ионизацию как матрицы, так и включений, и предложен метод её решения. Установлено, что ионизация включений изменяет концентрацию свободных носителей заряда и заселённость энергетических состояний, поэтому при описании электрофизических свойств нанокomпозиционных материалов необходимо учитывать зависимость спектра локализованных состояний от радиуса и концентрации наночастиц.

^a <https://orcid.org/0009-0002-5748-8062>

^b <https://orcid.org/0009-0005-9528-6770>



Ключевые слова: нанокomпозиционные материалы, оксид алюминия, наночастицы, локализованные состояния, примесные ловушки, энергетический спектр, модель Роуза–Фаулера, радиационная электропроводность, ионизирующее излучение

1. Введение

Нано композиты – это материалы, полученные путем смешения различных функциональных материалов в матрице. Как правило, размер хотя бы одной из фаз не превышает 100 нм. В результате такого смешения можно получить нанокomпозитные материалы, которые широко применяются в различных областях науки и техники [1].

Электрофизические свойства диэлектрических и полупроводниковых материалов определяются кинетикой носителей заряда и зависят от спектра локализованных состояний. Экспериментальные данные по изучению оптических характеристик свидетельствуют о том, что избыточный заряд, созданный ионизирующим излучением, после прекращения облучения стабилизируется на ловушках и может там оставаться длительное время.

Полимерные материалы обладают высокими физико-механическими и электроизоляционными свойствами [2, 3, 4].

Присутствуя в матрице, частицы образуют сферические агломераты, что обеспечивает сильное взаимодействие наполнителя с матрицей, а также способствует увеличению значений крутящего момента.

Использование полимеров в качестве матричного материала позволяет формировать удобные в производстве тонкие пленки. Кроме того, такие полимерные материалы, как полиметилметакрилат (PMMA), прозрачны в области ближнего ИК-видимого света [2, 4, 5], что делает его отличным матричным материалом для полупроводниковых наночастиц.

Композиты из эпоксицированного натурального каучука (ENR) и наночастиц оксида алюминия (ENRAN) были получены методом компаундирования в расплаве с последующим серным вулканизацией. Наночастицы оксида алюминия были введены в состав компаундов в количестве 10, 20, 30, 40, 50 и 60 частей на сто частей каучука (phr) для изучения влияния содержания наполнителя на характеристики вулканизации и механические свойства.

Было замечено, что частицы оксида алюминия равномерно распределены в матрице, что способствовало повышению крутящий момент минимальный МН, максимальный МЛ, модуля упругости при растяжении и твердости ENR.

Дисперсия наночастиц оксида алюминия изучалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM). Было установлено, что увеличение содержания наночастиц оксида алюминия в матрицах ENR ускоряет процесс вулканизации до 40% по сравнению с ненаполненными ENR. Минимальный крутящий момент (ML), максимальный крутящий момент (MH) и разница крутящих моментов (MH-ML) также увеличились из-за увеличения плотности сшивки в присутствии наночастиц оксида алюминия. Увеличение содержания наночастиц оксида алюминия в компаунде ENR привело к снижению прочности на разрыв, относительного удлинения при разрыве (EB) и ударной вязкости, но к увеличению твердости и модуля

упругости при растяжении по сравнению с ненаполненными ENR.

Например, в полимеры добавляли органоглину [6], углеродные нанотрубки [7], наночастицы оксида алюминия [8] и наночастицы диоксида кремния [9]. Полимерные нанокomпозиты демонстрируют уникальные свойства даже при добавлении нанонаполнителей с низким содержанием наночастиц (<5 мас. %), которые невозможно получить с помощью обычных или микронаполнителей [10]. Включение нанонаполнителей улучшает механические, электрические, оптические и другие свойства полимерных композитов без существенного ущерба для таких хороших свойств, как прочность, которая жертвуется жесткостью, как это наблюдается в углеродных волокнах, наполненных резиной [11].

Для получения полимерных нанокomпозитов использовались различные полимеры, такие как эластомеры (натуральный каучук (NR), окисленный натуральный каучук (ENR), стирол-бутадиеновый каучук (SBR), хлоропеновый каучук (CR), этиленпропилендиеновый моно мерный каучук (EPDM) и др.), термопласты (нейлон 6, 6, полипропилен (PP), полиэтилентерефталат (PET), полиметилметакрилат (PMMA), поликарбонат и др.) и полимерные смеси. Разработка полимерно-керамических нанокomпозитов создала ряд технологий и возможностей, которые могут быть применены к ENR.

Из оксида алюминия получают наночастицы [12], а также используют его в качестве матричного материала (корунд) [5]. Наночастицы оксида алюминия обычно внедряют в различные полимеры и, тем самым, улучшают его прочностные характеристики [12]. Поскольку в данной статье мы исследуем электрофизические свойства нанокomпозиционных материалов, такие как оптические и проводящие, ограничимся нанокomпозиционными материалами, в которых оксид алюминия используют в качестве матрицы.

Радиационная электропроводность и накопление объемного заряда в полимерных и керамических диэлектриках определяют работоспособность изоляции бортовой аппаратуры космических аппаратов и транспортных систем, что определяет прикладную значимость рассматриваемой задачи.

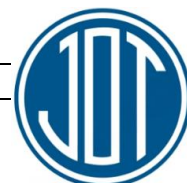
Цель – Нахождение энергетического спектра локализованных состояний при включении наночастиц в зависимости от радиуса и концентрации наночастиц.

Задача работы — построить теоретическую модель, описывающую электрофизические свойства нанокomпозиционных материалов на основе оксида алюминия и полимерных матриц при воздействии ионизирующего излучения.

2. Методика исследования

Локализованные состояния

Известно, что диэлектрические или полупроводниковые материалы имеют собственные локализованные состояния, обусловленные различными



структурными дефектами. Это могут быть нарушения ближнего или дальнего порядка, растянутые химические связи, различные инородные (на молекулярном уровне) примеси, которые приводят к изменению химического строения матрицы. Свойства локализованных состояний хорошо изучены для многих полимеров. Например, в таких полимерах, как РММА, полиэтилен высокого давления, полиэтилен низкого давления, полистирол, поликарбонат, политетрафторэтилен установлен дырочный механизм электропроводности, и спектр локализованных состояний описывается экспоненциальным распределением.

$N(E) = (N_0/kT_1) \exp(-E/kT_1)$, где N_0 — полная концентрация ловушек, T_1 — характеристическая температура распределения, энергия ловушки, E — отсчитанная от границы валентной зоны. Примером диэлектрика с электронной проводимостью является корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Анион-дефектный оксид алюминия используется в дозиметрах, основанных на термолюминесценции [5, 13], что обусловлено наличием глубоких ловушек, которые способны хранить информацию о поглощенной дозе достаточно долгое время, пока образец не будет подвержен нагреву (термывывечивание). В отличие от полимерных диэлектриков, таких как полиметилметакрилат, где дырочные ловушки подчиняются экспоненциальному закону и имеются как мелкие ловушки, так и глубокие, в оксиде алюминия определяющую роль играют глубокие электронные ловушки, из которых термическое освобождение заряда при комнатной температуре маловероятно. В работах оксид алюминия рассматривается как диэлектрик с двумя глубокими ловушками $E_1 = 1.3$ и $E_2 = 1.6$ eV [8]. Здесь E_1 и E_2 отсчитаны от дна зоны проводимости. Захват свободных зарядов на уровень E ловушки характеризуется коэффициентом захвата $k_E = v\sigma_a(E)$, где v — скорость свободного носителя заряда, $\sigma_a(E)$ — сечение захвата на соответствующий уровень. Время термического освобождения захваченных на ловушки носителей заряда описывается выражением $\tau_E = v_0^{-1} \exp(E/kT)$, где v_0 — частотный фактор. Для ряда полимеров значения k_E , v_0 определены в работах, для оксида алюминия — в [5, 13]. Для полимеров с дырочной проводимостью характерные значения констант $k_E \sim 10^{16} \text{ m}^3/\text{s}$, $v_0 \sim 10^4\text{--}10^{11} \text{ s}^{-1}$, для оксида алюминия (электронная проводимость) — $k_E \sim 10^{20}\text{--}10^{25} \text{ m}^3/\text{s}$, $v_0 \sim 10^{13} \text{ s}^{-1}$. При включении наночастиц в запрещенной зоне образуются дополнительные локализованные состояния, на которые могут захватываться электроны и дырки, подобно тому, как примеси в полупроводниках приводят к появлению акцепторных или донорных примесных состояний. Исходя из этой аналогии локализованные состояния, обусловленные внедрением наночастиц, будем называть примесными локализованными состояниями (примесными ловушками). Найдем энергетический спектр локализованных состояний в нанокompозите со сферическими включениями, радиус которых R_{pat} . При включении наночастицы в матрицу из-за разницы уровней Ферми материалов на границе наночастица-матрица образуется сферический потенциальный барьер. Обозначим энергию Ферми и работу выхода матрицы и включения соответственно F_M , W_M , F_{pat} , W_{pat} . Если $F_M < F_{pat}$ ($W_M > W_{pat}$) электроны, стремясь к

энергетическому минимуму, перетекают из включения в матрицу. В результате включение приобретает положительный заряд $q_{pat} = C_{pat}U_0$, где C_{pat} — емкость включения, $U_0 = W_M - W_{pat}$. Электроны, удерживаемые полем положительно заряженной наночастицы, локализуются в потенциальной яме, глубина которой — U_0 относительно дна зоны проводимости матрицы. Данные включения являются включениями донорного типа. Противоположный случай, когда $F_M > F_{pat}$ ($W_M < W_{pat}$) приводит к перетеканию электронов во включение, которое в равновесном состоянии будет иметь отрицательный заряд, q_{pat} а дырки будут находиться в локализованных состояниях, энергия которых определяется относительно потолка валентной зоны матрицы. В этом случае имеем включение акцепторного типа.

Полагая, что физическая природа захвата и термического освобождения носителей заряда одинакова для собственных и примесных локализованных состояний, можно дать оценку константам K_a и m_* . Собственные локализованные состояния в различных средах обусловлены различного рода дефектами их строения. Пространственные масштабы дефектов для кристаллов составляют единицы — сотни постоянных кристаллической решетки, для полимеров — размеры макромолекул. Если в качестве оценки пространственного масштаба собственного локализованного состояния взять величину порядка 1 nm, то для включений с такими же размерами можно найти искомые константы из условия, что коэффициенты захвата и частотные факторы для собственных и примесных локализованных состояний одинаковы. Найденные таким образом константы для акцепторного включения $K_a \sim 10^{-6}$, $m_* \sim 10^2\text{--}10^9 m_e$, (m_e — масса электрона), для донорного включения $K_a \sim 10^{-9}\text{--}10^{-14}$, $m_* \sim m_e$.

Рассмотрим нанокompозит на основе РММА ($W_{PMMA} = 4.68$ eV) с включением в него наночастиц CdS ($W_{Cds} = 6.05$ eV). Данное включение является акцепторным с глубиной дырочной потенциальной ямы $U_0 = 1.37$ eV. Удобно для дальнейшего анализа выделить в спектре локализованных состояний глубокие ловушки, у которых $|E_n| > 10kT$ и, следовательно, термическое освобождение заряда при температуре T маловероятно.

При внедрении наночастиц CdS с $R_{pat} = 2$ nm в потенциальной яме образуется 3 энергетических уровня для дырок глубиной $|E_n| = 0.52, 0.99$ и 1.27 eV. При 300 K все эти уровни являются глубокими. По мере увеличения размера наночастиц растет количество энергетических уровней: для наночастиц с $R_{pat} = 5$ nm образуется 9 энергетических уровней, причем при 300 K глубокими являются 7, для $R_{pat} = 10$ nm из 19 уровней — 14 глубоких. При внедрении наночастиц SrO с работой выхода $WW_{SrO} = 2.0$ eV в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (работа выхода 3.05 eV) на границе наночастица-матрица образуется электронная потенциальная яма глубиной 1.05 eV, т. е. имеем примесь донорного типа. Важно отметить, что в отличие от собственных локализованных состояний энергетический спектр примесных локализованных состояний принадлежит определенной наночастице и захваченные на примесные ловушки заряды, стремясь к минимуму энергии, всегда будут занимать наиболее глубокие энергетические состояния при наличии на них вакансий. В процессе



облучения материалов спектр локализованных состояний может изменяться за счет радиационных повреждений. Учет этого фактора выходит за рамки настоящей работы, и исследования радиационной проводимости наноконпозиционных материалов рассматриваются здесь при неизменном спектре локализованных состояний.

Уравнения Роуза–Фаулера для наноконпозита и их решение

Поскольку на данном этапе нас будет интересовать только локальная электропроводность наноконпозита при облучении, полагаем, что ионизация по объему однородная, эффекты заряжения [11] не существенны и дрейфом носителей заряда можно пренебречь. Отметим, что рассмотренные здесь модель и метод ее реализации без труда обобщаются на случаи неоднородного облучения, учета заряжения и дрейфа носителей заряда, включая многомерное рассмотрение.

Обозначим через n , p концентрации свободных электронов и дырок; n_m , p_l — концентрации захваченных на ловушки электронов и дырок, где $1 \leq m \leq m_0$, $1 \leq l \leq l_0$, m_0 , l_0 — количество электронных и дырочных локализованных состояний. Пусть состояния $1 \leq m \leq \tilde{m}_0$, $1 \leq l \leq \tilde{l}_0$ относятся к локализованным состояниям матрицы наноконпозита (собственные локализованные состояния), а состояния $\tilde{m}_0 + 1 \leq m \leq m_0$, $\tilde{l}_0 + 1 \leq l \leq l_0$ относятся к примесным локализованным состояниям, которые образовались в результате внедрения наночастиц. Другие обозначения: α — коэффициент рекомбинации, $K_m = (k_m M_m - n_m)$, $K_l = k_l (L_l - p_l)$, k_m , k_l — коэффициенты захвата на электронные и дырочные ловушки, M_m , L_l — концентрации электронных и дырочных ловушек, $\tau_{m,l} = \exp(E_m)/kT / v_0$ — времена жизни зарядов на электронных и дырочных ловушках с энергией $E_{m,l}$ соответственно. Далее будем рассматривать включения одного сорта, т. е. либо донорные, когда внедренная наночастица имеет положительный заряд ($q_{pat} > 0$), либо акцепторные, когда ($q_{pat} < 0$). Система уравнений Роуза–Фаулера, описывающая динамику свободных и захваченных на ловушки зарядов, имеет вид

$$\dot{n} = S - \alpha n \left[p + \sum_{l=1}^{l_0} p_l \right] - n \sum_{m=1}^{m_0} K_m + \sum_{m=1}^{m_0} \frac{n_m}{\tau_m} + S_{pat}, \quad (1)$$

$$\dot{p} = S - \alpha p \left[n + \sum_{m=1}^{m_0} n_m \right] - p \sum_{l=1}^{l_0} K_l + \sum_{l=1}^{l_0} \frac{p_l}{\tau_l} + S_{pat}, \quad (2)$$

$$\dot{n}_m = K_m n - \frac{n_m}{\tau_m} - \alpha p n_m - \dot{S}_{pat} \delta_{m,m_0}, \quad 1 \leq m \leq m_0 \quad (3)$$

$$\dot{p}_l = K_l p - \frac{p_l}{\tau_l} - \alpha n p_l + (\dot{S}_{pat} - \dot{S}_{pat}) \delta_{l,l_0+1}, \quad 1 \leq l \leq l_0, \quad (4)$$

Где $\dot{S}_{pat} = S_{pat}$ — для донорного включения, $\dot{S}_{pat} = 0$ — для акцепторного.

В начальный момент времени концентрации носителей заряда имеют равновесные (без облучения) значения n^0, p^0, n_m^0, p_l^0 . Эти значения могут быть найдены из решения системы (1)–(4) с нулевыми начальными условиями для концентраций свободных и захваченных на собственные ловушки зарядов и отсутствием вакансий на примесных ловушках при

$$S_{pat} = S_{pat} = 0 \quad (5)$$

Феноменологическая модель Роуза–Фаулера [14] наиболее полно описывает свойства диэлектриков, учитывая перенос и удержания зарядов. В основу данного метода положена модель диэлектрика с запрещенной зоной [15].

На рис.1 представлена модель запрещенной зоны [15], где C — зона проводимости, V — валентная зона, FF — темновой уровень Ферми, AA — электронный уровень Ферми (при фотовозбуждении), BB — дырочный уровень Ферми (при возбуждении), E — мелкие электронные ловушки, H — мелкие дырочные ловушки, G — состояния, близкие к основному (рекомбинационные центры, глубокие ловушки);

1 — фотовозбуждение молекулы (дырка захватывается мелкой нейтральной ловушкой, электрон поднимается в зону проводимости и затем захватывается мелкой электронной ловушкой);

2 — термическая активация электрона с мелкой ловушки в зону проводимости с последующей рекомбинацией с дыркой на основном состоянии;

3 — термическая активация электрона в зону проводимости с последующим захватом на глубокий уровень;

4 — нейтрализация дырки, захваченной на мелкой дырочной ловушке, с электроном из валентной зоны с последующей ее рекомбинацией с электроном, захваченным на основном состоянии;

5 — мелко захваченная дырка принимает электрон из валентной зоны и затем захватывается глубокой ловушкой. Движение носителей соответствует приложенному электрическому полю.

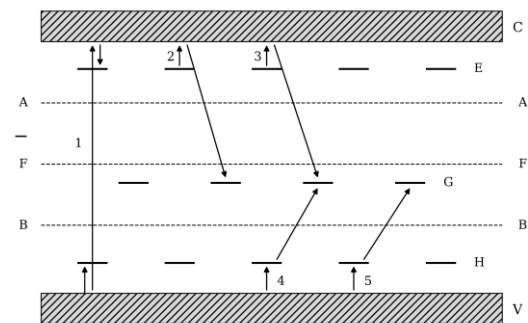


Рис. 1. Модель запрещённой зоны и акты захвата носителей заряда (построено авторами по описанию модели [15])

Суть данной модели заключается в том, что наличие примесей в кристаллической решетке и ее дефекты приводят к появлению в запрещенной зоне ряда локализованных состояний. Носители, находящиеся в любом из этих состояний, считаются связанными. Электроны на мелких уровнях или мелких ловушках находятся в тепловом равновесии с электронами из зоны проводимости.

Вероятность их переходов в эту зону в результате термического возбуждения достаточно высока.

Электроны в состояниях, близких к основному, с большей вероятностью захватывают свободные дырки и рекомбинируют с ними. Вероятность же перехода этих электронов в зону проводимости намного ниже, однако, время рекомбинации может быть весьма большим. В результате, состояния близкие к основному выступают



в качестве глубоких ловушек и центров рекомбинации.

Основное состояние является нейтральным, когда занято электроном, и положительным – будучи свободным. Такое состояние является донорным. Акцепторное состояние, наоборот, нейтрально в отсутствии электрона и отрицательно заряжено, когда занято электроном.

Электроны, с энергиями вблизи уровня Ферми, имеют приблизительно равную вероятность для возбуждения в зону проводимости и для рекомбинации. Положение уровня Ферми зависит от концентрации свободных электронов. Для дырок ситуация совершенно аналогична.

На рис.1 глубокие электронные и дырочные состояния, близкие к основным, располагаются между уровнями Ферми для электронной (АА) и дырочной (ВВ) систем.

Вызываемое облучением возбуждение приводит к генерации в материале равного числа электронов и дырок. Электроны поднимаются в зону проводимости, а затем постепенно захватываются мелкими ловушками и рекомбинируют, с дырками происходит обратное. Свободные электроны зоны проводимости и свободные дырки валентной зоны могут передвигаться под действием электрического поля, созданного в образце. Это передвижение является током проводимости. Подвижности электронов и дырок в общем случае различны. Перенос заряда может осуществляться также и другими способами, например, туннелированием электронов в зону проводимости под влиянием сильного электрического поля.

Модель Роуза-Фаулера применяется, в частности, для исследования радиационного заряжения диэлектриков [16]. Уравнения кинетики носителей заряда, основанные на данной модели, учитывают инжекцию заряда, ионизационное образование электронно-дырочных пар, их взаимную рекомбинацию, захват и освобождение носителей заряда из ловушек, дрейф носителей заряда в созданном ими электрическом поле.

В одномерном случае система уравнений модели Роуза-Фаулера имеет вид [16]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = S + Q_n - \frac{\partial J_N}{\partial z} - \alpha \sum_{l=1}^L N p_l \quad (6)$$

$$- \sum_{m=1}^M \frac{N}{T_m} \left(1 - \frac{n_m}{N_m}\right) + \sum_{m=1}^M \frac{n_m}{\tau_m};$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = S + Q_p - \frac{\partial J_P}{\partial z} - \alpha \sum_{m=1}^M P n_m - \sum_{l=1}^L \frac{P}{T_l} \left(1 - \frac{p_l}{P_l}\right) + \sum_{l=1}^L \frac{p_l}{\tau_l}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial n_m}{\partial t} = -\alpha P n_m + \frac{N}{T_m} \left(1 - \frac{n_m}{N_m}\right) - \frac{n_m}{\tau_m}, m = 1, 2, 3, \dots; \quad (8)$$

$$\frac{\partial p_l}{\partial t} = -\alpha N p_l + \frac{P}{T_l} \left(1 - \frac{p_l}{P_l}\right) - \frac{p_l}{\tau_l}, l = 1, 2, 3, \dots; \quad (9)$$

$$p = -e[(N - P) + \left(\sum_{m=1}^M n_m - \sum_{l=1}^L p_l\right)]; \quad (10)$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = \frac{\rho}{\epsilon \epsilon_0}. \quad (11)$$

Здесь m и l – индексы отрицательных и положительных ловушек соответственно, $N(z, t)$ и $P(z, t)$ – плотности свободных отрицательных и положительных ловушек, n_m и p_l – концентрации захваченных носителей зарядов на ловушках, $N(z, t)$ – концентрация отрицательных ловушек m -того сорта, где $m=1, 2, \dots, M$, $P_l(z, t)$ – концентрация положительных ловушек l -того сорта, где $l=1, 2, \dots, L$, τ_m – время жизни отрицательного заряда в ловушках m -сорта, t_l – время жизни положительного заряда в ловушках l -того сорта, T_m и T_l – время захвата отрицательного и положительного зарядов на ловушку,

$\alpha = \mu_{\pm} - \mu_{-} e / \epsilon \epsilon_0$ – коэффициент рекомбинации, где $\mu_{\pm}$ и μ_{-} – подвижности дырок и электронов, ϵ – диэлектрическая проницаемость, а ϵ_0 – электрическая постоянная, S – скорость генерации электронно-дырочных пар вследствие ионизации среды, Q_N и Q_P – скорости генерации электронов и дырок за счет термоионизации, $J_N = -\mu_{-} N E$ и $J_P = \mu_{+} P E$ – токи, обусловленные движением электронов и дырок, $E = \partial \phi / \partial z$ – напряженность электрического поля, ϕ – потенциал, ρ – плотность заряда.

В нанокмпозиционных материалах включение наночастиц приводит к появлению энергетических уровней в запрещенной зоне, аналогично тому, как наличие примесей в диэлектриках приводят к примесной проводимости. Таким образом, зная спектры состояния, обусловленные включениями наночастиц, модель Роуза-Фаулера вполне можно применить к описанию оптических свойств нанокмпозиционных материалов. Однако, чтобы использовать модель Роуза-Фаулера для описания оптических свойств нанокмпозиционного материала, необходимо эту модель модифицировать. А именно задать концентрацию локализованных состояний, обусловленных включениями. Внедрение частиц в матричный материал сопровождается различными контактными и поверхностными явлениями на границе включение-матрица, поэтому необходимо учесть эти явления [14].

3. Заключение

Исследование Разработан новый метод решения системы уравнений Роуза-Фаулера для произвольного спектра локализованных состояний. Тестовые расчеты продемонстрировали эффективность данного метода. Найден энергетический спектр примесных локализованных состояний в нанокмпозиците со сферической наночастицей в зависимости от ее размера.

Предложенная модель ионизации нанокмполита учитывает как ионизацию матрицы, так и ионизацию включений. Показано, что ионизация включений меняет концентрацию свободных носителей заряда и заселенность энергетических состояний.



Электрофизических свойств нанокмпозиционных материалов необходимо учесть зависимость энергетического спектра локализованных состояний от радиуса и концентрации наночастиц. Модели описания оптических свойств нанокмпозиционных материалов учитывают поляризационные эффекты и позволяют определить различные параметры нанокмпозиционного материала, такие как показатель преломления, диэлектрическая проницаемость и коэффициент пропускания. Однако данные модели не учитывают кинетику носителей заряда и не позволяют описать явления, в которых кинетика носителей заряда является определяющим фактором.

Таким образом, необходимо разработать теоретическую модель на основе системы уравнений Роуза-Фаулера для описания электрофизических свойств нанокмпозиционного материала при воздействии ионизирующего излучения.

Использованная литература / References

- [1] Головань Л. А., Тимошенко В. Ю., Кашкаров П. К. Оптические свойства нанокмполитов на основе пористых систем // Успехи физических наук. 2007. Т. 177, № 6. С. 619–638.
- [2] Anthony J. K., Kim H. Ch., Lee H. W., Mahapatra S. K., Lee H. M., Kim Ch. K., Kim K., Lim H., Rotermund F. Particle size-dependent giant nonlinear absorption in nanostructured Ni–Ti alloys // Optics Express. 2008. Vol. 16, Iss. 15. P. 11193–11202. <https://doi.org/10.1364/OE.16.011193>
- [3] Shamilov R. R., Galyametdinov Yu. G. Polymethylmethacrylate nanocomposites based on quantum dots of CdSe and CdSe/CdS synthesized in a water-ethanol medium // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, Iss. 15. P. 322–324.
- [4] Popov V. K., Bagratashvili V. N., Krotova L. I., Rybaltovskii A. O., Smith D. C., Timashev P. S., Yang J., Zavorotnyi Yu. S., Howdle S. M. A route to diffusion embedding of CdSe/CdS quantum dots in fluoropolymer microparticles // Green Chemistry. 2011. Vol. 13, Iss. 10. P. 2696–2700. <https://doi.org/10.1039/c1gc15553a>
- [5] Кортов В. С., Мильман И. И., Никифоров С. В. Твердотельная дозиметрия // Известия Томского политехнического университета. 2000. Т. 303. С. 35–45.
- [6] Teh P. L., Mohd Ishak Z. A., Hashim A. S., Karger-Kocsis J., Ishiaku U. S. Effects of epoxidized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber–organoclay nanocomposites // European Polymer Journal. 2004. Vol. 40, Iss. 11. P. 2513–2521.
- [7] Shanmugharaj A. M., Bae J. H., Lee K. Y., Noh W. H., Lee S. H., Ryu S. H. Physical and chemical characteristics of multiwalled carbon nanotubes functionalized with aminosilane and its influence on the properties of natural rubber composites // Composites Science and Technology. 2007. Vol. 67. P. 1813–1822.
- [8] Siegel R. W., Chang S. K., Ash B. J., Stone J., Ajayan P. M., Doremus R. W., Schadler L. S. Mechanical

behavior of polymer and ceramic matrix nanocomposites // Scripta Materialia. 2001. Vol. 44. P. 2061–2064.

[9] Park S. J., Jin S. Y., Kaang S. Influence of thermal treatment of nano-scaled silica on interfacial adhesion properties of the silica/rubber compounding // Materials Science and Engineering A. 2005. Vol. 398. P. 137–141.

[10] López-Manchado M. A., Valentín J. L., Carretero J., Barroso F., Arroyo M. Rubber network in elastomer nanocomposites // European Polymer Journal. 2007. Vol. 43, Iss. 10. P. 4143–4150. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.07.023>

[11] Ajayan P. M., Schadler L. S., Braun P. V. Nanocomposite Science and Technology. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003.

[12] Mohamad N., Muchtar A., Jameelah M., Dahlan Gh., Mohd Hj., Azhari Ch. H. The effect of filler on epoxidized natural rubber-alumina nanoparticles composites // European Journal of Scientific Research. 2008. Vol. 24, Iss. 4. P. 538–547.

[13] Никифоров С. В., Кортов В. С. // Физика твёрдого тела. 2014. Т. 56, вып. 10. С. 1999–2003.

[14] Орешкин П. Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая школа, 1977. 448 с.

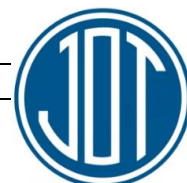
[15] Электреты / под ред. Г. Сесслера. М.: Мир, 1983. 486 с.

[16] Ванников А. В., Матвеев В. К., Сичкарь В. К., Тютнев А. П. Радиационные эффекты в полимерах. Электрические свойства. М.: Наука, 1982.

Информация об авторах/ Information about the authors

Пашаев Н.М. / Namik Pashayev
Институт космических исследований природных ресурсов Национального аэрокосмического агентства, главный научный сотрудник, доктор философии по технике (PhD)
E-mail: namikpasha@rambler.ru
Тел.: +994 55 333 14 27
<https://orcid.org/0009-0002-5748-8062>

Джавадов С.А. / Sohrab Javadov
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности; докторант Института космических исследований природных ресурсов Национального аэрокосмического агентства
E-mail: sohrabcavadov2@gmail.com
Тел.: +994 10 312 13 07
<https://orcid.org/0009-0005-9528-6770>



Scaling of precast-monolithic reinforced concrete frame building models, test program and selection of materials

U.D. Khamrokulov¹ ^a

¹Samarkand State University of technical named after Mirzo Ulugbek, Samarkand, Uzbekistan

Abstract: The article presents a unified test program for the experimental study of precast-monolithic reinforced concrete frame buildings erected in permanent reinforced concrete shell formwork. Three building models are studied: *M-1* (a reference monolithic frame), *M-2* (shell-and-core columns, U-shaped precast-monolithic girders, monolithic floor slab) and *M-3* (a precast multi-hollow floor slab). The modelling is based on the *Buckingham Pi* theorem: the dimensionless π -complexes of similarity are derived, the 1:4 scale is substantiated, and recalculation formulas for the prototype are systematized. The loading scheme and test conditions comply with GOST 8829-94 and SHNK 2.03.01-19. Properties of the materials — class *B25* heavy concrete, *A400* steel, *Vr-I* wire and basalt reinforcement — were determined in an accredited laboratory. Testing of auxiliary specimens gave a mean prismatic strength $R_{bm} = 30.5$ MPa, a coefficient of variation $C_v = 0.083$ and a design strength $R_b = 20.0$ MPa. The results form the methodological basis for an objective comparison of the models.

Keywords: precast-monolithic reinforced concrete, frame building, scale model, *Buckingham Pi* theorem, permanent formwork, concrete strength, test program

Yig'ma-yaxlit temirbeton sinchli bino modellarini masshtablashtirish, sinov dasturi va materiallarni tanlash

Xamrokulov U.D.¹ ^a

¹Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat texnika universiteti, Samarqand, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada yechib olinmaydigan temirbeton qobiqli qoliqlarda barpo etiladigan yig'ma-yaxlit temirbeton sinchli binolarni eksperimental tadqiq etish uchun ishlab chiqilgan yagona sinov dasturi bayon etilgan. Tadqiqot obyekti sifatida uch turdagi bino modeli — *M-1* (etalon yaxlit sinch), *M-2* (qobiq-yadroli ustun, U-simon yig'ma-yaxlit rigel va yaxlit orayopma) hamda *M-3* (ko'p bo'shliqli yig'ma orayopma) qabul qilingan. Modellashtirish *Bakingem-Pi* teoremasi asosida amalga oshirilib, o'xshashlikni belgilovchi o'lchamsiz π -komplekslar keltirib chiqarilgan, 1:4 masshtabning qabul qilinishi asoslangan va asosiy kattaliklarni natura binosiga qayta hisoblash formulalari tizimlashtirilgan. Yuklash sxemasi hamda sinov shartlari GOST 8829-94 va SHNK 2.03.01-19 talablariga muvofiq belgilangan. Qo'llanilgan materiallarning — *B25* sinfli og'ir beton, *A400* sinfli po'lat armatura, *Vr-I* sim va bazalt armaturaning fizik-mexanik xossalari akkreditatsiyalangan laboratoriyada aniqlangan. Yordamchi namunalarni sinash natijasida betonning o'rtacha prizmatik mustahkamligi $R_{bm} = 30,5$ MPa, o'zgaruvchanlik koeffitsiyenti $C_v = 0,083$ va hisobiy qarshiligi $R_b = 20,0$ MPa etib aniqlangan. Natijalar uch turdagi modelni obyektiv taqqoslash uchun metodik asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: yig'ma-yaxlit temirbeton, sinchli bino, masshtabli model, *Bakingem-Pi* teoremasi, yechib olinmaydigan qolip, beton mustahkamligi, sinov dasturi

1. Kirish

Hozirgi kunda respublikamizning barcha shaharlarida ko'p qavatli turar-joy va jamoat binolari jadal sur'atlarda barpo etilmoqda [1]. Ularning aksariyati yechib olinadigan qoliqlarda yaxlit temirbeton texnologiyasi bo'yicha tiklanmoqda. Bunday texnologiyaning bir qator kamchiliklari — opalubka ishlarining qimmatligi, qurilish muddatining uzayishi, qurilish maydonida beton sifatini nazorat qilishning murakkabligi va ob-havo sharoitiga

bog'liqligi mavjud. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etishning samarali yo'li — yig'ma va yaxlit texnologiyalarning afzalliklarini mujassamlashtirgan yig'ma-yaxlit temirbeton texnologiyasini qo'llashdir.

Biroq yig'ma-yaxlit texnologiya bo'yicha barpo etiladigan sinchli binolarning ustun-rigel-orayopma tugun zonalaridagi deformatsiya, yoriq hosil bo'lish va mustahkamlik xususiyatlari, shuningdek yechib olinmaydigan temirbeton qobiqli ustunlarning yaxlit yadro bilan birgalikdagi ishlashi yetarli darajada tajribaviy

^a <https://orcid.org/0009-0009-8061-3336>



o'rganilmagan [8]. Shu bois ushbu tadqiqotda uch turdagi sinchli bino modeli — *M-1* (etalon yaxlit), *M-2* (qobiq-yadroli ustun, U-simon yig'ma-yaxlit rigel, yaxlit orayopma) va *M-3* (qobiq-yadroli ustun, U-simon yig'ma-yaxlit rigel, ko'p bo'shliqli yig'ma orayopma) yagona sinov dasturi doirasida tajribaviy tadqiq etildi (1-rasm).

Mazkur maqolaning maqsadi — tadqiqotning birinchi bosqichini, ya'ni modellashirish uslubi, yagona sinov dasturi va materiallarni tanlash masalalarini yoritishdan iborat.



1-rasm. Bino modellarini (*M-1*, *M-2*, *M-3*) tayyorlash jarayoni

2. Tadqiqot metodologiyasi

Temirbeton konstruksiyalarni to'liq hajmda sinash katta moddiy va texnik xarajatlarni talab qilgani sababli, tadqiqot masshtabga solingan fizik modellar asosida o'tkazildi. Modellashirish nazariyasi G.A. Geniyev va V.N. Kissyukning ishlarida ishlab chiqilgan bo'lib [2], uning matematik asosini *Bakingem-Pi* teoremasi tashkil etadi [3]. Ushbu teoreмага ko'ra, fizik jarayonga ta'sir qiluvchi n ta o'lchamli kattalik va k ta asosiy o'lcham birligi (uzunlik L , kuch F , vaqt T) bo'lganida, jarayonni $(n - k)$ ta o'lchamsiz π -kompleks orqali to'liq tavsiflash mumkin [4]. Temirbeton elementlari uchun asosiy o'lchamsiz nisbatlar quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\pi_1 = \sigma/E_b; \quad \pi_2 = P/(f_{ck} \cdot P); \quad \pi_3 = (f_y \cdot A_s)/(f_{ck} \cdot A_c); \quad \pi_4 = l_1/l_2,$$

bu yerda σ — kuchlanish; E_b — betonning elastiklik moduli; P — yuk; f_{ck} — betonning prizmatik qarshiligi; A_s/A_c — armaturalash ko'effitsiyenti; l_1/l_2 — geometrik o'lchamlar nisbati. Ushbu o'lchamsiz komplekslar natura (original) va model uchun bir xil qiymatni saqlasa, tajriba natijalari masshtab ko'effitsiyenti yordamida bevosita natura binosiga ekstrapolyatsiya qilinadi.

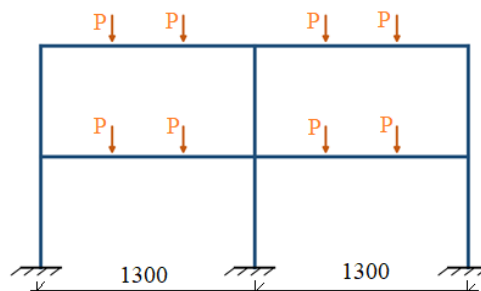
Geometrik o'xshashlik $kl = l_m/l_p$ masshtab ko'effitsiyenti bilan ifodalanadi (m — model, p — natura). Tadqiqotda 1:4 masshtab qabul qilindi; bu qiymat laboratoriya sinov jihozlarining (gidravlik domkratlar, o'lchash asboblari) imkoniyatlariga va natura binosining geometrik ko'rsatkichlariga mutanosib ravishda tanlandi. Asosiy fizik kattaliklarni natura binosiga qayta hisoblash formulalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Masshtab ko'effitsiyentlari va qayta hisoblash formulalari

Kattalik	Belgisi	Qayta hisoblash formulasi	Izoh
Uzunlik	l	$l_p = l_m \cdot kl$	$kl = 4$
Kuch	P	$P_p = P_m \cdot kl^2 \cdot k\sigma$	to'liq o'xshashlikda $k\sigma = 1$
Kuchlanish	σ	$\sigma_p = \sigma_m \cdot k\sigma$	—
Salqilik	f	$f_p = f_m \cdot kl \cdot k\sigma / kE$	kE — elastiklik modullari nisbati

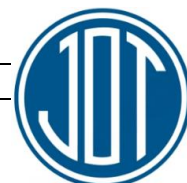
Yuklash sxemasi sifatida har bir oraliqda rigel bo'ylab oraliq uzunligining 1/3 nisbatida ikki nuqtaga to'plangan vertikal statik yuk qabul qilindi (2-rasm). Yuklash gidravlik domkratlar va traversa yordamida bosqichma-bosqich amalga oshirildi; har bir yuklash bosqichining qadami loyihaviy chegaraviy yukning 0,1 ulushiga teng olindi. Sinovlar GOST 8829-94 [5] hamda SHNK 2.03.01-19 [7] talablariga muvofiq o'tkazildi.



2-rasm. Bino modelining yuklash sxemasi

Namunalar Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti (SamDAQU) qoshidagi tajriba-sinov laboratoriyasida tayyorlandi. Beton sifatida B25 sinfli portlandsementli og'ir beton ishlatildi. Bog'lovchi sifatida Jizzax shahridagi «HUA XIN CEMENT JIZZAH» MChJda ishlab chiqarilgan M450 markali portlandsement qo'llanildi; sement aktivligi 32,7 MPa ni tashkil etdi. Model elementlari uchun beton qorishmasining tarkibi (1 m³ ga): sement 490 kg, qum 970 kg, chaqirosh 730 kg, suv 245 l; suv-sement nisbati S/S = 0,5; o'rtacha hajmiy zichligi 2440 kg/m³. Yechib olinmaydigan temirbeton qobiq uchun mayda donali beton (sement 550 kg, qum 1590 kg, suv 275 l, D_{max} = 5 mm) ishlatildi.

Bo'ylama armatura sifatida diametri 8 mm bo'lgan A400 sinfli po'lat armatura, ko'ndalang armatura sifatida diametri 2 mm bo'lgan Vr-I sinfli sim qo'llanildi. Yechib olinmaydigan qobiqni armaturalashda diametri 4 mm bo'lgan bazalt armaturadan foydalanildi. Barcha materiallarning fizik-mexanik xossalari GOST 31108-2020, GOST 30744-2001, GOST 8736-93, GOST 34028-2016 va GOST 12004-81 talablariga muvofiq, Oqdaryo tumanidagi «Regional Testing Centre» MChJ qoshidagi



akkreditatsiyalangan laboratoriyada tekshirildi (3–5-rasmlar).



3-rasm. Beton kublarni (a) va armaturani (b) sinash



4-rasm. Prizma namunalarni sinash

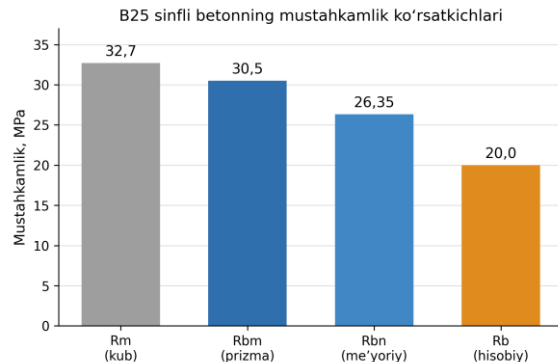


5-rasm. Beton namunalarni sinash natijasi

3. Natija va muhokamalar

Yordamchi sinov namunalari asosiy modellar bilan bir vaqtda, bir xil beton partiyasidan tayyorlanib, bir xil sharoitda (nisbiy namlik 90%, 28 sutka) saqlandi. Har bir quyish partiyasidan o'lchamlari 100×100×100 mm bo'lgan kamida 3 ta kub namuna hamda 100×100×400 mm bo'lgan 3 ta prizma namuna tayyorlanib, GOST 10180-2012 [6] talablariga muvofiq sinaldi. Prizmatik mustahkamlik va statistik tahlil natijalari asosida quyidagi ko'rsatkichlar olindi: prizmatik mustahkamlikning o'rtacha qiymati $R_{bm} = 30,5$ MPa; o'rta kvadratik chetlanish $S = 2,54$ MPa; o'zgaruvchanlik koeffitsiyenti $Cv = S/R_{bm} = 0,083$.

95% ishonchlik bilan ta'minlangan me'yoriy qarshilik $R_{bn} = R_{bm} \cdot (1 - 1,64 \cdot Cv) = 26,35$ MPa, hisobiy qarshilik esa $R_b = R_{bn}/\gamma_{bc} = 26,35/1,3 = 20,0$ MPa etib aniqlandi (6-rasm, 2-jadval). Ushbu qiymatlar keyingi nazariy hisoblar va chekli-elementli modellashirish uchun dastlabki ma'lumot sifatida qabul qilindi.



6-rasm. B25 sinfli betonning mustahkamlik ko'rsatkichlari

2-jadval

B25 sinfli betonning sinov natijalari

Ko'rsatkich	Belgisi	Qiymat	Birlik
Sement aktivligi	—	32,7	MPa
Prizmatik mustahkamlik (o'rtacha)	R_{bm}	30,5	MPa
O'rta kvadratik chetlanish	S	2,54	MPa
O'zgaruvchanlik koeffitsiyenti	Cv	0,083	—
Me'yoriy qarshilik	R_{bn}	26,35	MPa
Hisobiy qarshilik	R_b	20,0	MPa

Po'lat armatura namunalari GOST 12004-81 talablariga muvofiq universal sinov mashinasida (UMM-50) cho'zilishga sinaldi; oqilish chegarasi, mustahkamlik chegarasi, nisbiy uzayishi va elastiklik moduli aniqlanib, olingan qiymatlar SHNK 2.03.01-19 [7] ning hisobiy ko'rsatkichlariga mos kelishi tasdiqlandi. Shunday qilib, yagona sinov dasturi, 1:4 masshtabli modellashirish uslubi va materiallarning ishonchli mexanik xossalari uch turdagi bino modelini bevosita taqqoslash imkonini beradigan metodik asosni tashkil etdi.

4. Xulosa

1. Yechib olinmaydigan temirbeton qobiqli qoliplarda barpo etiladigan yig'ma-yaxlit sinchli bino modellari tajribaviy o'rganish uchun yagona sinov dasturi ishlab chiqildi.

2. Bakingem-Pi teoremasiga asoslangan 1:4 masshtabli modellashirish uslubi qo'llanilib, masshtab koeffitsiyentlari va natura binosiga qayta hisoblash formulalari asoslandi.

3. Yordamchi namunalar sinovi asosida B25 sinfli betonning o'rtacha prizmatik mustahkamligi $R_{bm} = 30,5$ MPa, me'yoriy qarshiligi $R_{bn} = 26,35$ MPa va hisobiy qarshiligi $R_b = 20,0$ MPa etib aniqlandi.

4. Ishlab chiqilgan metodik asos uch turdagi modelning (M-1, M-2, M-3) kuchlanish-deformatsiya holati, yoriqbardoshligi va mustahkamligini obyektiv taqqoslash imkonini beradi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 27-noyabrda PF-6119-son «Qurilish industriyasini modernizatsiya qilish va innovatsion rivojlantirish strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni.

[2] Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

[3] Buckingham E. On Physically Similar Systems; Illustrations of the Use of Dimensional Equations // Physical Review. – 1914. – Vol. 4, № 4. – P. 345–376.

[4] Harris H.G., Sabnis G.M. Structural Modeling and Experimental Techniques. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 1999. – 808 p.

[5] ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нажатием. – М., 1994.

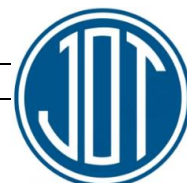
[6] ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2012.

[7] ШНК 2.03.01-19. Бетон ва темирбетон конструкциялар. – Тошкент: O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi, 2019.

[8] Usmanov V.F. Temirbeton konstruksiyalar egiluvchan sterjen elementlarining mustahkamligi, yoriqbardoshligi va deformatsiyalanishi: diss. ... t.f.d. (DSc). – Samarqand: SamDAQI, 2023. – 268 b.

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

Xamrokulov Ulugbek / Ulugbek Khamrokulov	Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat texnika universiteti doktoranti (DSc) E-mail: midimin@mail.ru Tel.: +99891 552-96-64 https://orcid.org/0009-0009-8061-3336
---	---



Technical and economic justification of ballastless track structures under Uzbekistan's conditions

R. Primkulov¹, Kh. Umarov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The proposed methodology preserves the key principles underlying modern approaches to the evaluation of technical and economic feasibility solutions for the design of ballastless track structures under conditions of insufficient initial data. Given the relatively debatable nature of this feature of ballastless track structures, the rationale for selecting a ballastless track structure for the construction of a high-speed railway in Uzbekistan has been examined, taking into account the existing risks and the specific conditions of the country. Taking into account the technical parameters of the upper structural elements in operation on the railway network of Uzbekistan, the "Rheda" ballast-free track design, modified in Germany, was selected.

Keywords: ballastless track structure, economic efficiency assessment, net present value, technical and economic feasibility study, Hyundai Rotem, Jaloliddin Manguberdi high-speed train, Tashkent–Samarkand ballastless track section

O'zbekiston sharoitida ballastsiz yo'l konstruksiyalarini texnik-iqtisodiy asoslash

Primkulov R.O.¹, Umarov X.K.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Taklif etilayotgan metodika boshlang'ich ma'lumotlarning yetarli emasligi sharoitida loyihalanayotgan ballastsiz yo'l konstruksiyalarini texnik-iqtisodiy asoslash yechimlarini baholashda zamonaviy metodikalarning asosi bo'lgan eng muhim tamoyillarni saqlab qolgan. Ballastsiz yo'l konstruksiyalarining bu xususiyati yetarlicha bahsli va mavjud risklarni hisobga olgan holda O'zbekiston sharoitidan kelib chiqib yuqori tezlikdagi temir yo'lni qurishda ballastsiz yo'l konstruksiyani tanlash asoslashlari ko'rib chiqilgan. O'zbekiston temir yo'l tarmog'ida ekspluatatsiyadagi yuqori qurilma elementlarni texnik parametrlari hisobga olgan holda Germaniyada modifikatsiyalangan "Rheda" ballastsiz yo'l konstruksiyasini tanlab olingan.

Kalit so'zlar: ballastsiz yo'l konstruksiyasi, iqtisodiy samaradorligini baholash, sof diskontlangan daromad, texnik-iqtisodiy asoslash, Hyundai Rotem, Jaloliddin Manguberdi tezyurar poyezdi, Toshkent – Samarqand ballastsiz yo'l uchastkasi

1. Kirish

O'zbekiston sharoitida ballastsiz yo'l konstruksiyalarini texnik-iqtisodiy asoslash talab etadi. Buning uchun O'zbekiston sharoitini o'rganish va turli xil sharoitlarda ballastsiz yo'lning rentabelligi asoslash lozim. Bundan tashqari ballastsiz yo'llarni barpo qilishda qurilish narxlarining keskin oshishi va joriy texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarning pasayishi bilan qoplanadi degan prognozlarni hisobga olgan holda asoslanishi talab etadi.

Ko'rib chiqish uchun taqdim etilgan har bir investitsiya loyihasi bo'yicha to'rtta asosiy ko'rsatkich aniqlanadi:

1. Sof diskontlangan daromad (*SDD*);
2. Rentabellik indeksi (*RI*);
3. Ichki daromad darajasi (*IDD*);
4. O'zini oqlash muddati (T_0).

Ushbu ko'rsatkichlar tizimi har bir alohida investitsiya loyihasining tijorat, byudjet va milliy iqtisodiy samaradorligini baholashga, shuningdek maksimal rentabellik (yoki minimal yo'qotish) mezonida ko'rib chiqilganlar orasidan eng yaxshisini tanlashga imkon beradi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Sof diskontlangan daromad (*SDD*) – bu operatsion ta'sir va hisob-kitob davri uchun investitsiyalar o'rtasidagi farqlarning yig'indisi bo'lib, bitta (odatda boshlang'ich) yilga kamayadi:

$$SDD = \sum_{t=0}^{T_h} (E_t - K_t) \cdot \eta_t,$$

^a <https://orcid.org/0009-0005-3799-7494>

^b <https://orcid.org/0000-0003-0397-2780>



bu yerda: T_h – hisoblash davri (hisoblash gorizonti) yillarda; $E_t - t$ - yildagi ekspluatatsiya jarayonida iqtisodiy samarasi; $K_t - t$ - yildagi investitsiya xarajatlari; η_t – diskontlash koeffitsiyenti.

Doimiy diskont stavkasi (E) bilan diskontlash koeffitsiyenti (ko'p martalik xarajat ko'rsatkichlarini kamaytirish koeffitsiyenti)ga teng:

$$RI = \sum_{t=0}^{T_p} R_t \cdot \eta_t / \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t,$$

Investitsiya loyihasi $RI > 1$ bo'lganda samarali hisoblanadi.

Loyiha ikki valyutada – milliy valyuta - so'm, o'ltchov birligi - mln.so'm da hisoblangan. Tashqi savdo operatsiyalari uchun valyuta – AQSH.dol. Investitsion loyiha ekanligini hisobga olgan holda yakuniy shakllari mln.AQSH.dol. ekvivalentida bajariladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024 yil 12 avgustdagi PQ-289-son qaroriga 1-ilovasiga muvofiq ravishda “6 ta yuqori tezlikda harakatlanuvchi elektropoyezdlarni xarid qilish” loyihasining asosiy texnik-iqtisodiy qo'rsatkichlari keltirilgan. Bunda,

Loyihasining umumiy qiymati – 253 031,74 ming AQSH dol.;

Yo'lovich tashish quvvati – 1321,1 ming yo'lovchi yiliga;

Qarzni so'ndirish muddati – 40 yil;

Kridetni qaytarishda imtiyozli davr – 10 yil;

Kridet foiz stavkasi – 0,05 %.

Hyundai Rotem “Jaloliddin Manguberdi” tezyurar poyezdining Toshkent – Xiva to'liq yo'nalishi bo'yicha bir tomonlama chiptalarining rasmiy narxi:

– Ekonom-klass 1 km uchun – 0,064 AQSH dol.;

– VIP-klass 1 km uchun – 0,147 AQSH dol.

Hyundai Rotem “Jaloliddin Manguberdi” tezyurar poyezdini tarkibi va sig'imi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

“Jaloliddin Manguberdi” tezyurar poyezdini tarkibi va sig'imi

Harakatlanuvchi tarkib turi	Vagonlar soni	Har bir yo'lovchi vagoniga to'g'ri keladigan o'rindiqlar soni	Jami o'rindiqlar soni
VIP klass:	2	24	48
Ekonom-klass	5	68	341
Bistro vagoni	1	0	0
Tortish lokomotivi	2	0	0
Jami:			389

Biz, “Jaloliddin Manguberdi” tezyurar poyezdining Toshkent – Samarqand yunalishi bo'yicha ham analog usulda qullaymiz. Biroq, Toshkent – Xiva to'liq yo'nalishida o'rtacha harakat tezligi soatiga 136,3 kmni tashkil qiladi. Toshkent – Samarqand yunalishi bo'yicha o'rtacha harakat tezligi soatiga 195,4 kmni tashkil etadi va bilek narxi tezlikka mos ravishda oshadi. Bunda, koeffitsiyent $k = 195,4/136,3 = 1,43$ ni olamiz.

Sotuv dasturida quyidagilar ko'zda tutilgan:

Haftada 6 kun, yiliga 52 hafta harakat. Birinchi bosqichda har bir tarkib kuniga 6 reysdan (“borish-kelish”) harakatlanadi. Har 5 yilda 2 tadan reysga oshirilib boriladi (2-jadval).

2-jadval

“Jaloliddin Manguberdi” tezyurar poyezdiga sotish shartlari

Mahsulot	Narxi, 1 km uchun (AQSH dol.) ($k=1,43$)	1 ta poyezddagi o'rinlar	1 ta reysdagi o'rinlar (“borish-kelish”)	Toshkent – Samarqand temir yo'li uzunligi	1 ta reysdagi bilek narxi, (AQSH dol.)
VIP-klass:	0,210	48	96	268	5 402,9
Ekonom-klass:	0,092	341	682		16 815,4
Jami:	-	389	778		22 218,3

“Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli tezyurar temir yo'li magistrali qurilishi” konsepsiyasi “O'zbekiston temir yo'llari” AJ topshirig'iga muvofiq, ishlab chiqilayotgan “Toshkent – Samarqand uchastkasida yangi tezyurar temir yo'li qurilishi” ga qo'shimcha ravishda ishlab chiqilgan.

Iqtisodiy nuqtai nazardan, Toshkent stansiyasi – Samarqand stansiyasi uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli tezyurar temir yo'li magistrali qurilishi ko'p mehnat talab qiladigan va qimmat loyiha hisoblanadi.

Yangi temir yo'li liniyasi TIA ishlab chiqishda ikkita tubdan farq qiluvchi yechim ko'rib chiqildi:

1. Magistral qurilishining yer usti varianti (ballastli yo'l).

2. Magistral qurilishining yer usti varianti (ballastsiz yo'l).

Temir yo'li qurilishining yer usti varianti klassik usulga kiradi. Bu eng texnologik, tez va kam xarajatli qurilish turi hisoblanadi. Hozirgi vaqtda dunyodagi temir yo'llarning aksariyati yer usti turiga kiradi.

Taqqoslash variantlarini ko'rib chiqishda quyidagi asosiy xususiyatlardan foydalanildi:

– ajratiladigan haydaladigan yerlar maydoni;

– yer ishlari hajmi (yer massasi tanqisligi), grunt tashish masofasi;

– sug'orish texnologiyasining buzilishi;

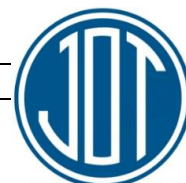
– qiymat ko'rsatkichlari.

Konsepsiya qurilishining joriy narxlardagi taxminiyl qiymati SHNK 4.01.16 – 09 “Qurilish qiymatini shartnomaviy joriy narxlarda aniqlash qoidalarini” va “Loyiha-qidiruv ishlari qiymatini aniqlash tartibi to'g'risidagi nizom”ga (Davrixitektqurilishning 10.11.2008 yildagi 22-son qarori bilan tasdiqlangan) muvofiq aniqlangan.

Obyekt qurilishining qiymati sotilgan analog-obyektlarning resurslarga bo'lgan ehtiyoji to'g'risidagi ma'lumotlar asosida quvvat birligiga (m^2 , m^3 , km , $p.m.$ va h.k.) xarajatlarning solishtirma ko'rsatkichlari bo'yicha normativlarga muvofiq uni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan barcha xarajatlari qiymatini kalkulyatsiya qilish asosida aniqlangan.

Muallif magistrlik ishida, ballastsiz yo'lni qo'llash bo'yicha xorijiy tajribani tahlil qilgan [1]. Bu tajribani O'zbekiston sharoitiga ko'chirish noto'g'ri bo'ladi, ammo umumiy tendensiyalarni tahlil qilish uchun, shubhasiz, foydali bo'ladi.

“Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'li magistrali qurilishi”da



“Toshtemiryo‘lloyiha” MCHJda qurilish smetalarini hisoblash “ABC4-UZ (5.1)” dasturi yordamida amalga oshirildi. Toshkent – Samarqand uchastkasi ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo‘l magistralini 1 km ustki qurilmasini qurishda smetasi quyidagi natijalar olindi.

Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo‘l magistralini 1 kmli ballastli yo‘l qurilishida 66 630 (28 819,5+37 810,55) mln. so‘m ni tashkil qilmoqda (3 va 4-jadvallar). Bu, 66 630/12 000 = 5,552 mln. AQSH.dol. ni tashkil qiladi.

Ko‘pgina tadqiqotchilarning fikriga ko‘ra, ballastsiz yo‘lni qo‘llash faqat uni qurish qiymati xuddi shu sharoitlarda oddiy yo‘lni qurish qiymatidan ko‘pi bilan 30% ga oshgan taqdirdagina foydalidir [2]. Aytib o‘tish lozimki, Yaponiya temir yo‘llari ballastsiz yo‘lni qurilish narxi ballastli yo‘l qurilish narxidan 30%dan oshsa ballastsiz yo‘lni qurilish loyihasi qabul qilinmaydi. Germaniya temir yo‘llari tajribasi shuni ko‘rsatadiki, Rheda ballastsiz yo‘lni qurish qiymati oddiy yo‘lni qurish qiymatidan 20-40% ga yuqori bo‘ladi [3]. Bu o‘shish taxminan 20 yil davomida ballastli yo‘lga nisbatan ballastsiz yo‘lni ekspluatatsiya qilish xarajatlarining kamayishi bilan qoplanadi.

3-jadval

Ustki qurilmani qurishda talab etilayotgan xarajatlar

№	Materiallar va konstruksiyalar nomi	Joriy narxlardagi qiymati, mln. so‘m
1	Quruvchi ishchilar va mashinistlar mehnati xarajatlari	416,1863
2	Qurilish mashinalari va mexanizmlari	1524,665
3	Qurilish materiallari, buyumlari va detallari	25 982,1
4	Inert materiallar	894,302
5	Pudratchining boshqa xarajatlari - 20%	2,2
Jami:		28 819,5

Yuqoridagi tadqiqotlarga asoslanib Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo‘l magistralini ballastsiz yo‘lni 1 kmni qurilishda 5,552 mln. AQSH.dol. 1,4≈7,78 mln. AQSH.dol. ni tashkil etadi deb hisoblaymiz.

4-jadval

Yer polotnoni qurishda talab etilayotgan xarajatlar

№	Materiallar va konstruksiyalar nomi	Joriy narxlardagi qiymati, mln. so‘m
1	Quruvchi ishchilar va mashinistlar mehnati xarajatlari	1 164,67
2	Qurilish mashinalari va mexanizmlari	25 849,33
3	Yer polotnosini qurish	107 47,25
4	Inert materiallar	46,0
5	Pudratchining boshqa xarajatlari - 20%	3,3
Jami:		37 810,55

Yo‘l infratuzilmasidan, xususan, yo‘lni ustki qurilmasini ekspluatatsiyasida, yo‘lga texnik xizmat ko‘rsatishda yo‘l ishlarining asosiy turlari, vazifalari va tarkibini ajratib ko‘rsatish lozim. Dissertatsiya tadqiqoti doirasida o‘rta ta‘mirlash va rejali-ogohlantiruvchi ta‘mirlash, shuningdek,

ballastli va ballastsiz yo‘l konstruksiyalarining joriy ta‘minoti 5 va 6-jadvallarda ko‘rib chiqiladi. Ekspluatatsiyadagi samarani quyidagicha yozish mumkin:

$$E_e = \sum_{n=1}^T (\Delta E_{jor.tamci} + \Delta K_{remi}),$$

Bunda, $\Delta E_{jor.tamci}$ - variantlar bo‘yicha joriy ta‘minot xarajatlarining farqi sifatida aniqlanadigan iqtisodiy samara, uning yo‘lni ustki qurilmasi konstruksiyasi turiga bog‘liq qismi;

ΔK_{remi} - yo‘lni ta‘mirlash uchun qo‘shimcha bir martalik xarajatlar o‘rtasidagi farq bo‘lib, u yo‘lni ustki qurilmasi konstruksiyasi turiga bog‘liq bo‘ladi.

Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo‘l magistralini 1 kmni o‘rta ta‘mirda 14 409,75 mln. so‘m ni tashkil qilishi aniqlandi. Bu, 14 409,75/12 000 = 1,2008 mln. AQSH.dol. ni tashkil qiladi. Germaniya [5-7], Yaponiya [5] va Rossiya [4, 8] ballastsiz yo‘lni ekspluatatsiya qilish tahlillari shuni ko‘rsatadiki ballastsiz yo‘l ballastli yo‘lga nisbatan 2 marta kam o‘rta va rejali-ogohlantirish ta‘miri xarajatlari talab qiladi (5-jadval). Ballastsiz yo‘lni ekspluatatsiya qilish tahlillari shuni ko‘rsatadiki ballastsiz yo‘l ballastli yo‘lga nisbatan 3 marta kam joriy saqlash xarajatlari talab qiladi (6-jadval).

5-jadval

Ballastsiz yo‘lni ekspluatatsiya davomida (ta‘mirlash) sohasidagi samara (ekspluatatsiya davri T = 60 yil)

Ta‘mirlash turi	1 km uchun narx, mln. AQSH.dol.			Samara, mln. AQSH.dol.
	Ballastli yo‘l	Davriylik	Ballastsiz yo‘l	
1. O‘rta ta‘mir	1,2008	4	-	4,8032
2. Rejali-ogohlantirish ta‘miri	0,6004	6	-	3,6024

Ekspluatatsiyadagi samarani quyidagicha yozish mumkin:

$$E_e = \sum_{n=1}^T (1,2008 \cdot 4 + 0,6004 \cdot 6) = 8,4056 \text{ AQSH. dol.}$$

6-jadval

Ballastsiz yo‘lni ekspluatatsiya davomida (joriy saqlash) sohasidagi samara (ekspluatatsiya davri T = 60 yil)

Ta‘mirlash turi	1 km uchun narx, mln. AQSH.dol.				Samara, mln. AQSH.dol.
	Ballastli yo‘l	Davriylik	Ballastsiz yo‘l	So‘ni	
Joriy saqlash	1,095	60	0,365	60	43,8

5 va 6-jadvallardan ko‘rinib turibdiki, bunday oraliq natija va ballastsiz yo‘l konstruksiyasi konsepsiyasiga amaliy jihatdan ekspluatatsiya xarajatlarini talab qilmaydigan konstruksiya sifatida yondashuvda (ya‘ni faoliyatning asosiy turlari, shu jumladan tashish turlari bo‘yicha xarajatlari) yetarlicha sezilarli samaraga erishiladi. Shubhasiz, tajribalar soni va ballastsiz yo‘l konstruksiyasini yotqizish tajribasi yo‘lni ehtimoliy ta‘mirlash (ballastsiz yo‘l konstruksiyasini qo‘llagan holda) va joriy saqlash xarajatlari bo‘yicha tobora dolzarb ma‘lumotlarni beradi [4].

Infratuzilmaning faqat bitta tashkil etuvchisi (yo‘l)ni batafsilroq ko‘rib chiqilganligi sababli, hisob-kitobda farq



qiluvchi ΔC_{eks} parametriga ham to'xtalib o'tish lozim. Bunday holda, yillik ekspluatatsiya xarajatlarning farqi quyidagi formula bo'yicha an'anaviy usulda aniqlanishi mumkin [4]:

$$\Delta C_{eks} = \sum C\alpha_t + \sum \Delta K_i \alpha_t,$$

bu yerda: $C\alpha_t$ - joriy saqlash bilan bog'liq xarajatlari; ΔK_i - ta'mirlash uchun bir martalik xarajatlari; α_t - diskontlash koeffitsiyenti.

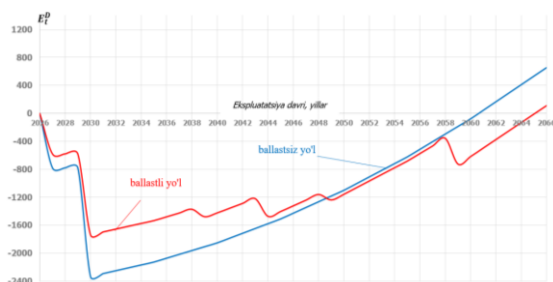
3. Natija va muhokamalar

Investitsiyalarni o'zini oqlash muddati (T_0) grafoanalitik tarzda aniqlanishi mumkin. Buning uchun investitsiya loyihasining hayotiy davri yillari absissa o'qi bo'ylab qoldiriladi va diskontlangan effekt yig'indisi E_t^d ordinata o'qi bo'ylab qoldiriladi, bu yil uchun t bo'ladi.

$$E_t^d = \frac{\Delta R_t - \Delta Z_t^* \pm H_t - K_t}{(1 + E)^t},$$

bu yerda: ΔR_t - t - yilda erishilgan natijalardagi o'zgarishlar; ΔZ_t^* - t - yilda ekspluatatsiya xarajatlarning o'zgarishi; $\pm H_t$ - t - yildagi soliq o'zgarishlari; K_t - t - yildagi investitsiya xarajatlari.

Ballastli va ballastsiz yo'lni o'zini oqlash muddati grafigi 1-rasmda ishlab chiqildi.



1-rasm. O'zini oqlash muddati grafigi

Bunda, Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralni qurilishda ballastsiz yo'lni o'zini oqlash muddati $T_{0\text{ bal-siz}} = 31\text{ yilni}$ va ballastli yo'lni o'zini oqlash muddati esa $T_{0\text{ bal-li}} = 35\text{ yilni}$ ni tashkil qildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralni o'zini oqlash katta muddat ta'lab qiladi.

1. Ballast yo'li qurilish uchun kam xarajatlarga ega va turli xil ekspluatatsiya sharoitlari uchun universal, bundan tashqari, u shovqin va tebranishni so'ndirish bo'yicha eng yaxshi texnik parametrlarga ega. Biroq, bunday yo'l joriy saqlash uchun sezilarli xarajatlarga ega.

2. Ballastsiz yo'lni qurish ballastli yo'lga qaraganda 30-40% qimmatroqdir. Ballastsiz yo'l xarajatlari ballastli yo'lga qaraganda 20-30% ga past hisoblanadi. Ballastsiz yo'lni qurish xarajatlarning oshishi taxminan 20 yildan so'ng uni joriy saqlash xarajatlarning kamayishi bilan qoplanadi. Bunda ballastli yo'lning taxminiy xizmat muddati 40 yilni, ballastsiz yo'lniki esa 60 yilni tashkil etadi.

3. Ballastsiz yo'lga nisbatan diskontlashni hisobga olgan holda hayotiy sikl qiymatini baholashning namunaviy usullaridan foydalanish bir qator sabablarga ko'ra maqsadga muvofiq emas:

- juda uzoq xizmat muddati;

- ballastsiz yo'lni ustki qurilmasini qo'llashdan olinadigan samara xizmat muddatining oxirgi uchdan bir qismida yuzaga keladi va diskontlashda to'liq o'zlashtiriladi;

- umuman loyihadan olinadigan samaralar hisobga olinmaydi;

- atrof - muhitdagi o'zgarishlar (yangi texnologiyalar va yangi materiallarning paydo bo'lishi) hisobga olinmaydi.

4. Ballastsiz yo'lni qo'llashdan olingan diskontlangan daromadni taxminan 60 yillik xizmat muddatida baholash uchun diskontlash stavkasini qayta diskontlash lozim.

5. Ballastsiz yo'ldan ekspluatatsiya qilish samaradorligining sharti diskontlashni hisobga olgan holda ham uzoq vaqt davomida undan ekspluatatsiya qilish samarasining "so'nmasligi" emas, balki o'sishi hisoblanadi. Bu shart diskontlanmagan ta'sirlar dinamikasi va diskont me'yorining shunday kombinatsiyasida ta'minlanishi mumkinki, bunda ta'sirni diskontlash koeffitsiyentiga ko'paytirish olingan qiymatning oldingi davr qiymatiga nisbatan pasayishiga olib kelmaydi.

4. Xulosa

Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralini 1 kmli ballastli yo'l qurilishida 5,552 mln. AQSH.dol. ni talab qilishi aniqlandi. Rheda ballastsiz yo'l konstruksiyasini qurish Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralini 1 kmli uchun 7,78 mln. AQSH.dol. ni talab qilishi aniqlandi.

Ballastsiz yo'lni 60 yil ekspluatatsiya davri davomida o'rta ta'mir va rejali-ogohlantirish ta'mirlash sohasida ballastli yo'lga nisbatan iqtisodiy samara 8,4056 mln. AQSH.dol. tashkil qildi. Ballastsiz yo'lni 60 yil ekspluatatsiya davri davomida joriy saqlash ballastli yo'lga nisbatan iqtisodiy samara 43,8 mln. AQSH.dol. tashkil qildi.

Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralni qurilishda sof diskont daromad ballastsiz yo'lda $SDD_{0\text{ bal-siz}} = 658,34\text{ mln. AQSH.dol.}$ ni, ballastli yo'l uchun $SDD_{0\text{ bal-li}} = 114,04\text{ mln. AQSH.dol.}$ ni tashkil qildi.

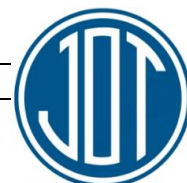
Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralni qurilishda ballastsiz yo'lni o'zini oqlash muddati $T_{0\text{ bal-siz}} = 31\text{ yilni}$ va ballastli yo'lni o'zini oqlash muddati esa $T_{0\text{ bal-li}} = 35\text{ yilni}$ ni tashkil qildi. Toshkent – Samarqand uchastkasida alohida ajratilgan ikki izli yuqori tezlikdagi temir yo'l magistralni texnik-iqtisodiy asoslashda 60 yil ekspluatatsiya davri davomida ballastsiz yo'l iqtisodiy samaraligi asoslandi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Савин, А. В. Критерии выбора конструкции безбалластного пути. [Текст] //Путь и путевое хозяйство. – М., 2014. – № 2. – С. 2–8.

[2] Тановицкий, Ю.Ю. Напряженно-деформированное состояние элементов проезжей части на безбалластном мостовом полотне металлических мостов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – МИИТ, 2010.

[3] Bezin, Y. The dynamic response of slab track constructions and their benefit with respect to conventional



ballasted track [Text] /Y. Bezin, D. Farrington, C. Penny, B. Temple, S. Iwnicki //Taylor & Francis. Manchester, UK. – 2010. – p.

[4] Разуваев А.Д. Оценка экономической эффективности применения безбалластной конструкции верхнего строения пути при строительстве железных дорог: дисс. к.э.н., – Москва, 2017. – 223 с.

[5] Franz Grützmaier, Chongjie Kang, Steffen Marx. Historical development of ballastless track systems in Germany. Construction and Building Materials 458 (2025), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139564>.

[6] O. Emmerich, Eisenbahngleis auf betonplatte Eisenbahntechnische Rundschau 10 (1955) 497 – 503.

[7] F. Stadler, Die Bedeutung des Patentwesens für die Oberbaukonstruktion Feste Fahrbahn Hannover: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2009.

[8] Савин А.В. Условия применения безбалластного пути: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – А.В. Савин, – М, 2017. – 444 с.

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

Primkulov Rahmonali Obloqul o'g'li / Rakhmonali Primkulov	Toshkent davlat transport universiteti, Temir yo'l muhandisligi kafedrası magistranti E-mail:
---	---

primkulovrahmonali70@gmail.com

Tel.: +99891 774-70-74

<https://orcid.org/0009-0005-3799-7494>

Umarov Xasan Kobilovich / Khasan Umarov	Toshkent davlat transport universiteti, Temir yo'l muhandisligi kafedrası, PhD, v.b. professor, E-mail: janobhuk@mail.ru
--	--

Tel.: +998904434914

<https://orcid.org/0000-0003-0397-2780>



Classification of methods for developing supply chains in road transport logistics

M.S. Burikhodjaeva¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The expansion of global production cooperation, the growth of e-commerce, the fragmentation of order composition, and the increasing demand for delivery speed necessitate the study of supply chain development in automotive logistics as an independent scientific field. Under these conditions, the development of the chain is not limited to improving a single transportation operation. It means the joint transformation of the transport network, warehouses, information systems, contractual relations, tariff mechanisms, risk management and customer service processes. Since a change made in one link of the supply chain affects time, cost, inventory, and service levels in other links, a systematic classification of improvement methods is of theoretical and practical importance.

Keywords: "Supply" concept, SCM (supply chain management), SCOR, ASCM, supply concept, paradigm, infrastructure, risk, resilience, environmental, logistics concept, innovation development, optimization, complex management, strategy, resource, supply chain planning

Avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usullari tasnifi

Burixodjayeve M.S.¹ 

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Global ishlab chiqarish kooperatsiyasining kengayishi, elektron tijorat hajmining ortishi, buyurtmalar tarkibining mayda bo'laklarga ajralishi va yetkazib berish tezligiga qo'yiladigan talablarning kuchayishi avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish masalasini mustaqil ilmiy yo'nalish sifatida tadqiq etishni taqozo etadi. Mazkur sharoitda zanjirni rivojlantirish alohida tashish operatsiyasini takomillashtirish bilan cheklanmaydi. U transport tarmog'i, omborlar, axborot tizimlari, shartnomaviy munosabatlar, tarif mexanizmlari, risklarni boshqarish va mijozlarga xizmat ko'rsatish jarayonlarining birgalikdagi transformatsiyasini anglatadi. Ta'minot zanjirining bir bo'g'inida amalga oshirilgan o'zgarish boshqa bo'g'inlarda vaqt, xarajat, zaxira va xizmat darajasiga ta'sir qilgani sababli takomillashtirish usullarini tizimli tasniflash nazariy hamda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: "Yetkazib berish" tushunchasi, SCM (yetkazib berishlar zanjiri boshqarish), SCOR, ASCM, Ta'minot tushunchasi, paradigma, Infratuzilma, risk, rezilyentlik, ekologik, logistika tushunchasi, innovatsion rivojlantirish, optimallashtirish, kompleks boshqarish, strategiya, resurs, yetkazib berishlar zanjirini rejalashtirish

1. Kirish

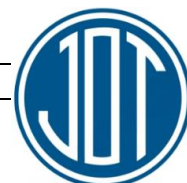
Global ishlab chiqarish kooperatsiyasining kengayishi, elektron tijorat hajmining ortishi, buyurtmalar tarkibining mayda bo'laklarga ajralishi va yetkazib berish tezligiga qo'yiladigan talablarning kuchayishi avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish masalasini mustaqil ilmiy yo'nalish sifatida tadqiq etishni taqozo etadi. Mazkur sharoitda zanjirni rivojlantirish alohida tashish operatsiyasini takomillashtirish bilan cheklanmaydi. U transport tarmog'i, omborlar, axborot tizimlari, shartnomaviy munosabatlar, tarif mexanizmlari, risklarni boshqarish va mijozlarga xizmat ko'rsatish jarayonlarining birgalikdagi transformatsiyasini anglatadi. Ta'minot zanjirining bir bo'g'inida amalga oshirilgan o'zgarish

boshqa bo'g'inlarda vaqt, xarajat, zaxira va xizmat darajasiga ta'sir qilgani sababli takomillashtirish usullarini tizimli tasniflash nazariy hamda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Ta'minot zanjiri boshqaruvi haqidagi zamonaviy qarashlar zanjirni mustaqil korxonalar yig'indisi emas, balki umumiy iste'mol qiymatini yaratishga yo'naltirilgan o'zaro bog'langan tizim sifatida talqin qiladi.

Avtomobil transporti zanjirning geografik moslashuvchanligini ta'minlashi, ishlab chiqaruvchi, ombor, terminal, savdo nuqtasi va yakuniy iste'molchini bevosita bog'lay olishi bilan boshqa transport turlaridan ajralib turadi. Shu bilan birga ushbu ustunlik ko'plab mayda tashuvchilar, turli texnik holatdagi transport vositalari, bo'sh yurishlar, yo'l va chegara infratuzilmasidagi cheklovlar,

 <https://orcid.org/0000-0002-9396-4428>



ma'lumotlarning parchalanganligi hamda tashish jarayonidagi yuqori noaniqlik bilan birga namoyon bo'ladi.

ASCM tomonidan ishlab chiqilgan SCOR Digital Standard zanjirni takomillashtirish va buyurtmani bajarish jarayonlari bilangina cheklamasdan, tarmoq dizayni, ma'lumotlar va texnologiyalar, shartnomalar, risk, ekologik-ijtimoiy boshqaruv, inson resurslari, uzluksiz takomillashtirish va aylanma iqtisodiyot elementlarini yagona boshqaruv doirasida ko'radi [3]. Ushbu yondashuv takomillashtirish usullarining keng tasnifini shakllantirish uchun metodologik asos bo'lib xizmat qiladi. Jahon banki logistika samaradorligini bojxona jarayonlari, infratuzilma, xalqaro jo'natmalarni tashkil etish, logistika xizmatlari sifati, kuzatuvchanlik va o'z vaqtida yetkazish ko'rsatkichlari orqali baholashi ham rivojlanish natijasi ko'p o'lhovli ekanini tasdiqlaydi [4].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Mazkur tadqiqotda avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usuli deganda zanjirning xarajat, vaqt, ishonchlilik, moslashuvchanlik, xavfsizlik, ekologik samaradorlik va mijoz qiymati ko'rsatkichlarini maqsadli yaxshilashga qaratilgan tashkiliy, iqtisodiy, texnologik yoki institutsional ta'sir vositasi tushuniladi.

Birinchi mezon – ta'sir obyekti. Unga ko'ra rivojlantirish usullari transport infratuzilmasi, transport vositalari, tarmoq konfiguratsiyasi, ombor va terminallar, axborot oqimi, xaziralar, shartnomaviy aloqalar, kadrlar yoki ekologik jarayonlarga yo'naltiriladi.

Ikkinchi mezon – boshqaruv darajasi bo'lib, strategik usullar zanjir arxitekturasini, taktik usullar resurslarni o'rta muddatli taqsimlashni, operativ usullar esa kundalik tashish va buyurtmalar bajarilishini o'zgartiradi.

Uchinchi mezon – vaqt ufqi: qisqa muddatli usullar mavjud resurslardan foydalanishni yaxshilasa, uzoq muddatli usullar infratuzilma, park, raqamli platforma va hamkorlik modelini yangilaydi.

To'rtinchi mezon – zanjir qamrovi. Lokal usullar bitta korxona yoki bitta logistika operatsiyasi doirasida qo'llanadi; korxonalararo usullar jo'natuvchi, tashuvchi, ombor, ekspeditor va qabul qiluvchi o'rtasidagi aloqalarni o'zgartiradi; tarmoq usullari esa hududiy yoki xalqaro transport yo'laklarini, logistika markazlarini va davlat tartib-taomillarini qamrab oladi.

Beshinchi mezon – kutilayotgan natijaning ustuvor turi. Bu xarajadni kamaytirish, vaqtini qisqartirish, xizmat darajasini oshirish, quvvatdan foydalanishni yaxshilash, tavakkalchilikni pasaytirish, ekologik yukni kamaytirish yoki zanjirning tiklanish qobiliyatini kuchaytirish shaklida namoyon bo'lishi mumkin.

Demak, rivojlantirish usullari o'zaro muqobil vositalar emas; ko'p hollarda ular yagona dastur tarkibida bir-birini kuchaytiruvchi to'plam sifatida qo'llanadi.

Rivojlanish darajasini baholashda turli yo'nalishlardagi ko'rsatkichlarni yagona o'lhovga keltirish uchun integral indeksdan foydalanish mumkin. Natijada zanjirning boshlang'ich va rivojlantirilgan holatini qiyoslash uchun quyidagi umumlashgan ko'rsatkich taklif etiladi:

$$I_{dev} = \sum w_j z_j, \sum w_j = 1 \quad (1)$$

I_{dev} – ta'minot zanjirining integral rivojlanish indeksi;
 w_j – j-ko'rsatkichning strategik ahamiyatini ifodalovchi vazn koeffitsiyenti;

z_j – 0 dan 1 gacha oraliqda normallashtirilgan j-ko'rsatkich.

Integral indeksning mazmuni uning tarkibiga kiritilgan ko'rsatkichlar va vaznlar bilan belgilanadi. Shu sababli vaznlarni ekspert bahosi, analitik ixtiya usuli, entropiya yondashuvi yoki korxonaning strategik ustuvorliklari asosida aniqlash mumkin.

1-jadval

Ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usullarini tasniflash mezonlari

№	Tasniflash mezon i	Asosiy guruhlar	Ilmiy-amaliy mazmuni
1	2	3	4
1	Ta'sir obyekti	Infratuzilma, transport vositasi, jarayon, axborot, xazira, munosabat, kadr	Usul qaysi elementning holati yoki ishlash mexanizmini o'zgartirishini ko'rsatadi.
2	Boshqaruv darajasi	Strategik, taktik, operativ	Qarorning amal qilish doirasi va boshqaruv ierarxiyasidagi o'rnini belgilaydi.
3	Vaqt ufqi	Qisqa, o'rta va uzoq muddatli	Natija olinadigan davr hamda investitsiyaning qaytish muddatini ifodalaydi.
4	Zanjir qamrovi	Lokal, korxonalararo, tarmoq va xalqaro	Rivojlantirish tadbirida qatnashuvchi subyektlar va hududiy qamrovni aniqlaydi.
5	Ta'sir mexanizmi	Ma'muriy, iqtisodiy, texnologik, axborot va hamkorlik	Ishtirokchilar xatti-harakatini o'zgartiradigan boshqaruv vositasini ochib beradi.
6	Ustuvor natija	Xarajat, vaqt, sifat, moslashuvchanlik, xavfsizlik, ekologiya	Usulni baholash uchun asosiy natijaviy mezonni tanlash imkonini beradi.

Manba: muallif tomonidan tizimlashtirilgan.

Ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usullarining asosiy guruhlari quyidagicha:

1. Institutsional-huquqiy rivojlantirish usullari.

Institutsional-huquqiy usullar avtomobil transporti logistikasidagi bozor qoidalari, ruxsat berish tartiblari, bojxona va chegara jarayonlari, xavfsizlik talablari, ma'lumot almashish standartlari hamda davlat-xususiy sheriklik mexanizmlarini takomillashtirishga qaratiladi. Ularning asosiy vazifasi zanjir ishtirokchilari uchun oldindan tushunarli, barqaror va bir xil qo'llanadigan faoliyat muhitini yaratishdir.

2. Tashkiliy-integratsion rivojlantirish usullari.

Tashkiliy-integratsion usullar zanjir ishtirokchilarining alohida rejalari va manfaatlarini muvofiqlashtirish orqali umumiy natijani yaxshilashga qaratiladi. Ular ishlab chiqaruvchi, yuk jo'natuvchi, tashuvchi, ekspeditor, ombor, distribyutor va qabul qiluvchi o'rtasida vakolat, javobgarlik,



ma'lumot va iqtisodiy manfaatlarining uyg'unlashtirilishini nazarda tutadi.

Integratsiya darajasini baholash uchun ichki, ta'minotchi, mijoz va logistika provayderi bilan integratsiya ko'rsatkichlarini yagona indeksga birlashtirish mumkin:

$$I_{int} = \alpha I_{in} + \beta I_{sup} + \gamma I_{cus} + \delta I_{3PL} \quad (2)$$

I_{int} – zanjir integratsiyasining umumiy indeksi;

I_{in} , I_{sup} , I_{cus} , I_{3PL} – mos ravishda ichki, yetkazib beruvchi, mijoz va logistika provayderi bilan integratsiya darajasi;

α , β , γ , δ – ahamiyat koeffitsiyentlari bo'lib, ularning yig'indisi 1 ga teng.

3. Infratuzilmaviy va tarmoq-konfiguratsion rivojlantirish usullari.

Infratuzilmaviy usullar transport yo'llari, logistika markazlari, terminallar, omborlar, yuklash-tushirish maydonlari, servis stansiyalari va chegara punktlarining quvvati hamda joylashuvini takomillashtirishga yo'naltiriladi. Avtomobil transporti tarmog'ining rivojlanganligi faqat yo'l uzunligi bilan emas, yuk oqimlari hosil bo'ladigan markazlarning transport yo'laklariga ulanishi, tugunlardagi qayta ishlash quvvati va muqobil yo'nalishlarning mavjudligi bilan belgilanadi.

Logistika tarmog'ini rivojlantirish masalasi umumiy xarajatlarni minimallashtiruvchi quyidagi model orqali ifodalanishi mumkin:

$$\min Z = \sum \sum c_{ij} x_{ij} + \sum f_j y_j + C_{inv} + C_{risk} + C_{env} \quad (3)$$

c_{ij} – i va j nuqtalar o'rtasida yuk birligini tashish xarajati;

x_{ij} – i nuqtadan j nuqtaga yo'naltiriladigan yuk oqimi;

f_j – j -logistika obyekti tashkil etish yoki ishlatishning doimiy xarajati;

y_j – obyekt tanlansa 1, aks holda 0 qiymat qabul qiluvchi ikkilik o'zgaruvchi;

C_{inv} , C_{risk} , C_{env} – zaxira, tavakkalchilik va ekologik xarajalar.

4. Transport-texnologik va operatsion rivojlantirish usullari.

Transport-texnologik usullar mavjud avtomobil parki va operatsion jarayonlardan foydalanish samaradorligini oshirishga qaratiladi. Ushbu guruh investitsiya talab qilmaydigan yoki nisbatan tez natija beradigan choralarni ham, transport vositalarini texnik yangilash va maxsus kuzovlardan foydalanish kabi kapital tadbirlarni ham qamrab oladi.

Jarayonning asosiy xizmat ko'rsatkichi sifatida o'z vaqtida va to'liq bajarilgan buyurtmalar ulushi hisoblanishi mumkin:

$$OTIF = \frac{N_{on-time, full}}{N_{total}} \times 100\% \quad (4)$$

$N_{on-time, full}$ – belgilangan vaqtda hamda to'liq hajmda yetkazilgan buyurtmalar soni;

N_{total} – jami bajarilgan buyurtmalar soni.

5. Raqamli-axborot rivojlantirish usullari.

Raqamli usullar ta'minot zanjiridagi ma'lumotlarni yig'ish, standartlashtirish, almashish, tahlil qilish va qarorga aylantirish jarayonlarini takomillashtiradi. Avtomobil transportida transportni boshqarish tizimi, omborni boshqarish tizimi, ERP integratsiyasi, GPS/telematika, elektron hujjat aylanishi, ECMR, mobil haydovchi ilovalari, nazorat minorasi, IoT sensorlari, prognozli tahlil va raqamli egizak texnologiyalari asosiy vositalar hisoblanadi.

Raqamli yetuklikni quyidagi indeks bilan baholash mumkin:

$$D_m = \sum v_k s_k \quad (5)$$

D_m – zanjirning raqamli yetuklik indeksi;

s_k – ma'lumotlar sifati, integratsiya, real vaqt kuzatuv, tahlil va avtomatlashtirish bo'yicha k -komponent bahosi;

v_k – komponentning vazn koeffitsiyenti.

6. Iqtisodiy-moliyaviy rivojlantirish usullari.

Iqtisodiy-moliyaviy usullar zanjir ishtirokchilarining qarorlarini umumiy natijaga yo'naltiradigan narx, tarif, rag'bat va investitsiya mexanizmlarini shakllantiradi. Transport shartnomasida faqat kilometr yoki tonna uchun to'lov qo'llansa, tashuvchi yukni belgilangan muddatda, to'liq va sifatli yetkazishdan ko'ra hajmini oshirishga ko'proq manfaatdor bo'lishi mumkin.

Rivojlantirish loyihalarining iqtisodiy maqsadga muvofiqligi diskontlangan pul oqimlari asosida baholanishi lozim:

$$NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (6)$$

CF_t – t -davrdagi sof pul oqimi;

r – diskont stavkasi;

I_0 – boshlang'ich investitsiya.

7. Servis va mijozga yo'naltirilgan rivojlantirish usullari.

Servis usullari yetkazib berish jarayonini transport korxonasining ichki qulayligi emas, mijoz ehtiyoji nuqtayi nazaridan qayta loyihalashga qaratiladi. Bunda mijozlar yetkazib berish tezligi, partiya hajmi, mahsulot xususiyati, xizmat hududi, axborotga ehtiyoj va narx sezgirligi bo'yicha segmentlanadi. Barcha mijozlarga bir xil xizmat darajasini taklif qilish ortiqcha xarajat yoki qoniqmaslikni keltirib chiqarishi mumkin.

8. Risk, xavfsizlik va rezilyentlikni rivojlantirish usullari.

Avtomobil transporti logistikasidagi ta'minot zanjiri yo'l-transport hodisasi, transport vositasining nosozligi, chegara yopilishi, tirbandlik, yoqilg'i ta'minotidagi uzilish, axborot tizimi ishdan chiqishi, o'g'irlik, tabiiy ofat va talabdagi keskin o'zgarish kabi tavakkalchiliklarga duch keladi.

Riskning kutilayotgan iqtisodiy zarari ehtimol va oqibatning ko'paytmasi asosida aniqlanadi:

$$EL_{risk} = \sum p_k L_k \quad (7)$$

p_k – k -risk hodisasining sodir bo'lish ehtimoli;

L_k – hodisa sodir bo'lgandagi iqtisodiy zarar.

Riskni kamaytiruvchi chora xarajati uning oldini oladigan kutilayotgan zarar va zanjirning tiklanish tezligiga ta'siri bilan qiyoslanadi.

9. Ekologik va resurs-tejamkor rivojlantirish usullari.

Ekologik usullar avtomobil yuk tashuvlarining yoqilg'i sarfi, issiqxona gazlari, shovqin, chiqindi va shahar muhitiga salbiy ta'sirini kamaytirish bilan birga resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi. Logistika choralarga transport vositasini to'liqroq yuklash, bo'sh yurishni kamaytirish, marshrut va yetkazib berish vaqtini optimallashtirish, yuklarni konsolidatsiyalash va multimodal yechimlar kiradi.

Transportning ekologik intensivligini quyidagi ko'rsatkich yordamida aniqlash mumkin:

$$EI_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{Q \times L} \quad (8)$$

M_{CO_2} – tashish jarayonida hosil bo'lgan karbonat angidrid ekvivalenti massasi;

$Q \times L$ – bajarilgan transport ishi, tonna-kilometr.

10. Inson kapitali va innovatsion rivojlantirish usullari.

Ta'minot zanjirining texnik va raqamli rivojlanishi xodimlarning malakasi, hamkorlik madaniyati va



o'zgarishlarni qabul qilish qobiliyatisiz barqaror natija bermaydi. Inson kapitali usullari logistika menejerlari, dispecherlar, haydovchilar, ombor xodimlari, tahlilchilar va axborot texnologiyalari mutaxassislarining bilim hamda ko'nikmalarini rivojlantiradi.

3. Xulosa

Integral indeksning mazmuni uning tarkibiga kiritilgan ko'rsatkichlar va vaznlar bilan belgilanadi. Shu sababli vaznlarni ekspert bahosi, analitik ierarxiya usuli, entropiya yondashuvi yoki korxonaning strategik ustuvorliklari asosida aniqlash mumkin. Indeksning oshishi zanjirning bir vaqtning o'zida bir nechta muhim xususiyatlari yaxshilanganini anglatadi; biroq u alohida ko'rsatkichlar dinamikasini almashtirmaydi ularni umumlashtiradi. Ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usullarining asosiy 10ta guruhlarini ko'rib chiqildi va taxlil natijasiga ko'ra institutsional rivojlantirishning iqtisodiy samarasi odatda bevosita tashish tarifida emas, balki tranzit vaqtining qisqarishi, tashkiliy-integratsion usullar manfaatlarini muvofiqlashtirish orqali umumiy natijani yaxshilashga qaratilishi, Infratuzilmaviy usullar transport yo'llarini joylashuvini takomillashtirishga yo'naltiradi, Transport-texnologik usullar yuk birligiga to'g'ri keladigan masofa, vaqt, yoqilg'i va mehnat sarfini kamaytirgan holda yetkazib berishning barqarorligini oshiradi, Raqamli usullar ta'minot zanjiridagi ma'lumotlarni yig'ish, qarorga aylantirish jarayonlarini takomillashtiradi, Iqtisodiy-moliyaviy usullar zanjir ishtirokchilarining qarorlarini umumiy natijaga yo'naltiradigan narx va investitsiya mexanizmlarini shakllantiradi, Servis usullari mijoz ehtiyoji nuqtayi nazaridan qayta loyihalashga qaratiladi, Risklarni rivojlantirish usullari xavfni faqat sodir bo'lgandan keyin bartaraf etishga emas, uni oldindan aniqlash, oqibatni baholash, himoya choralarini tanlash rejasini tayyorlashga qaratiladi, Ekologik usullar avtomobil yuk tashuvlarining yoqilg'i sarfi, shovqin, chiqindi va shahar muhitiga salbiy ta'sirini kamaytirish bilan birga resurslardan foydalanish samaradorligi oshirilishi aniqlandi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Minken H., Johansen B. G. A logistics cost function with explicit transport costs // *Economics of Transportation*. 2019. Vol. 19. Article 100116. DOI: 10.1016/j.ecotra.2019.04.001.
- [2] Mosca A., Vidyarthi N., Satir A. Integrated transportation-inventory models: A review // *Operations Research Perspectives*. 2019. Vol. 6. Article 100101. DOI: 10.1016/j.orp.2019.100101.
- [3] Madadi A., Kurz M. E., Ashayeri J. Multi-level inventory management decisions with transportation cost consideration // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 719–734.
- [4] Cui Z., Solak S., Johnson E. L. The inventory routing problem under uncertainty // *Operations Research*. 2023. DOI: 10.1287/opre.2022.2407.
- [5] Coelho L. C., Cordeau J.-F., Laporte G. Thirty years of inventory routing // *Transportation Science*. 2014. Vol. 48. No. 1. P. 1–19.

[6] Qin H., Zhang Z., Qi Z., Lim A. The freight consolidation and containerization problem // *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 234. No. 1. P. 37–48. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.015.

[7] Bookbinder J. H., Higginson J. K. Probabilistic modeling of freight consolidation by private carriage // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2002. Vol. 38. No. 5. P. 305–318.

[8] Hong K., Lee C. Optimal time-based consolidation policy with price-sensitive demand // *International Journal of Production Economics*. 2013.

[9] Moon I. K., Cha B. C., Lee C. The joint replenishment and freight consolidation of a warehouse in a supply chain // *International Journal of Production Economics*. 2011. Vol. 133. No. 1. P. 344–350.

[10] Popken D. A. An algorithm for the multiattribute, multicommodity flow problem with freight consolidation and inventory costs // *Operations Research*. 1994. Vol. 42. No. 2. P. 274–286. DOI: 10.1287/opre.42.2.274.

[11] Bertazzi L., Savelsbergh M., Speranza M. G. Inventory routing // In: *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer, 2008.

[12] Kleywegt A. J., Nori V. S., Savelsbergh M. W. P. The stochastic inventory routing problem with direct deliveries // *Transportation Science*. 2002. Vol. 36. No. 1. P. 94–118.

[13] Archetti C., Bertazzi L., Laporte G., Speranza M. G. A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem // *Transportation Science*. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 382–391.

[14] M.C.Буриходжаева“Методы совершенствования и улучшения качества управления в железнодорожном транспорте “Экономика и социум” №12(103) 2022

[15] Юлдашева С, БўриходжаеваМ “Повышение эффективности таможенной деятельности в развитии международного экономического сотрудничества “international scientific and practical conference” the time of scientific progress” 2022/9/10 (87-91)

[16] M.C.Бўрихаджаева«мамлакат “Иктисодиётида автомобил транспорти коридорларини ривожлантириш истикболлари» oriental renaissance: innovative, educational, natural and social sciences 3(1/2), jan., 2023й с. 338-345

[17] M.C.Бўрихаджаева “Маркетинговый подход в деятельности предприятия “ Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences 3(4/2) апрель 2023 (653-661 бет).

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

Burihodjayeva
Maloxat
Sobitovna /
Malokhat
Burikhodjaeva
Toshkent davlat transport universiteti
“Transport logistikasi” kafedrasida katta o'qituvchisi,
E-mail:
maloxatburixadjaeva@gmail.com
Tel.: +998 971957779
<https://orcid.org/0000-0002-9396-4428>



Methods and priority directions for developing supply chains in automotive transport logistics within the context of Uzbekistan

M.S. Burikhodjaeva¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The lack of direct access to Uzbekistan's seaports, the need to cross the territory of several countries in international transportation, and the distances between inland regions increase the flexible connecting role of road transport in supply chains. At the same time, the interoperability of international corridors, border crossings, multimodal terminals, and domestic distribution networks is of particular importance. The current tasks of the Ministry of Transport include developing the logistics services market, reducing the transport and logistics costs of entrepreneurs, diversifying corridors, and developing multimodal transportation. Practical measures to develop Uzbekistan's transport and logistics system include the goals of electronic queues, expanding container transportation, and improving logistics efficiency [14]. To implement these tasks at the level of the automotive supply chain, close cooperation is required between the state, logistics operators, shippers, transport companies, digital platforms, and educational institutions.

Keywords: Digital-Information, Service and customer-oriented, Risk, security and resilience, human capital and innovation, institutional-legal, organizational-integrative, Transport-technological and operational, SCM (supply chain management), SCOR, ASCM, supply concept, paradigm, infrastructure, risk, resilience, environmental, logistics concept, innovation development, optimization, complex management, strategy, resource, supply chain planning

O'zbekiston sharoitida avtomobil transporti logistikasida yetkazib berish zanjirlarini rivojlantirish usullari va ustuvor yo'nalishlari

Burixodjayeva M.S.¹ 

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya: O'zbekistonning dengiz portlariga to'g'ridan-to'g'ri kirishning yo'qligi, xalqaro tashishda bir qancha davlatlar hududini kesib o'tish zarurati, ichki hududlar orasidagi masofalar avtomobil transportining ta'minot zanjirlarida moslashuvchan bog'lovchi rolini oshiradi. Shu bilan birga, xalqaro yo'laklarning, chegara o'tish joylarining, multimodal terminallarning va ichki tarqatish tarmoqlarining o'zaro muvofiqligi alohida ahamiyatga ega. Transport vazirligining hozirgi vazifalari qatoriga logistika xizmatlari bozorini rivojlantirish, tadbirkorlarning transport va logistika xarajatlarini kamaytirish, koridorlarni diversifikatsiya qilish, multimodal transportni rivojlantirish kiradi. O'zbekistonning transport-logistika tizimini rivojlantirish bo'yicha amaliy chora-tadbirlar elektron navbatlarni tashkil etish, konteyner tashishni kengaytirish, logistika samaradorligini oshirish maqsadlarini o'z ichiga oladi [14]. Ushbu vazifalarni avtomobilsozlik ta'minot zanjiri darajasida amalga oshirish uchun davlat, logistika operatorlari, yuk jo'natuvchilar, transport kompaniyalari, raqamli platformalar va ta'lim muassasalari o'rtasida yaqin hamkorlik talab etiladi.

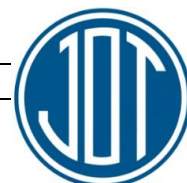
Kalit so'zlar: Raqamli-axborot, Servis va mijozga yo'naltirilgan, Risk, xavfsizlik va rezilyentlik, Inson kapitali va innovatsiya, Institutsional-huquqiy, Tashkiliy-integratsion, Transport-texnologik va operatsion, SCM (yetkazib berishlar zanjiri boshqarish), SCOR, ASCM, Ta'minot tushunchasi, paradigma, Infratuzilma, risk, rezilyentlik, ekologik, logistika tushunchasi, innovatsion rivojlantirish, optimallashtirish, kompleks boshqarish, strategiya, resurs, yetkazib berishlar zanjirini rejalashtirish

1. Kirish

Tasnif rivojlantirish vositalarining mazmunini ochib beradi, biroq amaliy qaror uchun qaysi usul yoki usullar paketi ustuvor ekanini aniqlash talab etiladi. Tanlash jarayoni zanjir diagnostikasidan boshlanadi. Diagnostikada

buyurtma sikli, xarajat tarkibi, zaxira, transport vositalari yuklanishi, OTIF, mijoz shikoyatlari, risk hodisalari, axborotning kechikishi va ekologik ko'rsatkichlar o'rganiladi. Muammo ildiz sababi aniqlanmasdan tanlangan usul alomatni vaqtincha bartaraf etishi, lekin tizimning umumiy holatini yaxshilamasligi mumkin.

 <https://orcid.org/0000-0002-9396-4428>



Ikkinchi bosqichda rivojlantirish maqsadi o'lganadigan ko'rsatkichlar orqali belgilanadi. Masalan, "transportni yaxshilash" umumiy ifoda bo'lsa, "OTIFni 90 foizdan 96 foizga oshirish, bo'sh yurishni 18 foizdan 12 foizga kamaytirish va buyurtma siklini 10 foiz qisqartirish" aniq maqsad hisoblanadi. Uchinchi bosqichda turli guruhlardan muqobil usullar shakllantiriladi. Agar kechikishning sababi yo'l emas, yuklash joyidagi navbat va ma'lumotning kech uzatilishi bo'lsa, yangi avtomobil xarid qilishdan ko'ra slot boshqaruvi, elektron xabarnoma va hamkorlikdagi jadval samaraliroq bo'lishi mumkin[1].

1-jadval

Avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish usullarining mualliflik tasnifi

№	Usullar guruhi	Asosiy vositalar	Natija baholash ko'rsatkichlari
1	Institutsional-huquqiy	Litsenziya va ruxsatlarni soddalashtirish; eCMR; elektron navbat; yagona darcha; xavfsizlik va ma'lumot standartlari.	Ma'muriy kutish va tranzaksiya xarajatlari; chegara va hujjat rasmiylashtirish vaqti; nizolar ulushi.
2	Tashkiliy-integratsion	S&OP; CPFR; SLA; uzoq muddatli hamkorlik; 3PL/4PL; VMI; cross-docking; hamkorlikda rejalashtirish.	Integratsiya indeksi; zaxira aylanishi; rejalar muvofiqligi; buyurtma sikli; umumiy logistika xarajati.
3	Infratuzilmaviy va tarmoq	Logistika markazlari; ombor tarmog'i; terminal quvvati; muqobil yo'laklar; shahar konsolidatsiya markazlari.	O'rta asofa; qamrovradi usi; terminal kutishi; quvvatdan foydalanish; muqobil yo'nalishlar soni.
4	Transport-texnologik va operatsion	Marshrutlashtirish; backhauling; konsolidatsiya; milk-run; vaqt oynalari; preventiv servis; parkni yangilash.	OTIF; bo'sh masofa; yuklanish; yoqilg'i sarfi; tonna-kilometr; texnik tayyorgarlik.
5	Raqamli-axborot	TMS, WMS va ERP integratsiyasi; GPS; telematika; eCMR; IoT; nazorat minorasi; tahlil va raqamli egizak.	Raqamli yetuklik; kuzatuvchanlik; ma'lumot xatosi; prognoz aniqligi; qaror qabul qilish vaqti.
6	Iqtisodiy-moliyaviy	SLA tariflari; bonus-malus; gainsharing; lizing; sug'urta; supply chain	NPV; ROI; xarajat tejalishi; tarif va xizmat muvozanati; investitsiya qaytish muddati.

		finance; PPP va yashil moliya.	
7	Servis va mijozga yo'naltirilgan	Mijoz segmentatsiyasi; xizmat paketlari; express/iqtisodiy tarif; proaktiv xabarnoma; qaytarish logistikasi.	Mijoz qoniqishi; shikoyatlar; OTIF; qayta yetkazish; mijozni saqlab qolish; xizmat tannarxi.
8	Risk, xavfsizlik va rezilyentlik	Risk reyestri; diversifikatsiya; muqobil marshrut; zaxira quvvati; monitoring; sug'urta; stress-test; BCP.	Kutilayotgan zarar; uzilish chastotasi; aniqlash va tiklanish vaqti; xavfsizlik hodisalari.
9	Ekologik va resurs-tejamkor	Eco-driving; bo'sh yurishni kamaytirish; alternativ yoqilg'i; elektr transport; modal kombinatsiya; reversiv logistika.	CO ₂ /tonna-km; yoqilg'i sarfi; chiqindi; qayta foydalanish ulushi; hayotiy sikl xarajati.
10	Inson kapitali va innovatsiya	Kompetensiya modeli; o'qitish; simulyatsiya; Lean/Kaizen; pilot loyiha; o'zgarishlarni boshqarish.	Xodim unumdorligi; xatolar; hodisalar; o'qitish samarasi; takliflar; texnologiya qabul qilinishi.

Manba: muallif tomonidan ishlab chiqilgan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Usullarni ko'p mezonli baholashda iqtisodiy samara, joriy etish muddati, investitsiya hajmi, riskni kamaytirish, xizmatga ta'sir, ekologik natija va tashkiliy murakkablik mezonlari qo'llanadi. Har bir muqobil usulning ustuvorlik balli quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$P_m = \sum \omega_j a_{mj} \quad (1)$$

P_m – m-rivojlantirish usulining umumiy ustuvorlik balli;

a_{mj} – m-usulning j-mezon bo'yicha normallashtirilgan bahosi;

ω_j – j-mezonning vazni.

Baholash natijasida eng yuqori ball olgan usul avtomatik ravishda tanlanmasligi kerak. Usullar o'rtasidagi bog'liqlik, resurs cheklovlari, ketma-ketlik va joriy etish xavfi tahlil qilinadi.

Usullarni paket holida qo'llashda sinergiya yuzaga keladi. Raqamli kuzatuv, xizmat darajasi shartnomasi va haydovchilarni rag'batlantirish birgalikda qo'llansa, ularning umumiy natijasi har bir usulni alohida joriy etish natijalari yig'indisidan yuqori bo'lishi mumkin. Sinergik samara quyidagi ifoda orqali baholanadi:

$$S_{syn} = E_{package} - \sum E_i \quad (2)$$

$E_{package}$ – usullar paketi joriy etilgandagi umumiy iqtisodiy natija;

E_i – i-usulni alohida qo'llashdan olinadigan natija.



S_{yn} musbat bo'lsa, usullar o'zaro kuchaytiruvchi xususiyatga ega; manfiy bo'lsa, ular resurs uchun raqobatlashishi, bir-birini takrorlashi yoki tashkiliy murakkablikni oshirishi mumkin. Shuning uchun dastur portfeli shakllantirilganda sinergiya bilan birga xodimlar yuklamasi, axborot tizimlari mosligi, investitsiya oqimi va o'zgarishlarni qabul qilish qobiliyati hisobga olinadi[2].

Rivojlantirish dasturini vaqt bo'yicha ham bosqichlash maqsadga muvofiq. Qisqa muddatda jarayonlarni xaritalash, ko'rsatkichlar tizimi, marshrut va yuklanishni yaxshilash, hujjatlarni standartlashtirish kabi tezkor tadbirlar amalga oshiriladi. O'rta muddatda TMS/WMS integratsiyasi, hamkorlik shartnomalari, parkni yangilash, konsolidatsiya markazlari va xodimlar kompetensiyasi rivojlantiriladi. Uzoq muddatda tarmoq konfiguratsiyasi, multimodal infratuzilma, raqamli egizak, past emissiyali transport va xalqaro axborot platformalariga integratsiya ta'minlanadi.

2-jadval

Rivojlantirish usullarini boshqaruv darajalari bo'yicha joylashtirish

Yo'nalish	Strategik daraja	Taktik daraja	Operativ daraja
1	2	3	4
Tarmoq va infratuzilma	Tugunlar va koridorlar konfiguratsiyasi	Quvvat va xizmat hududlarini taqsimlash	Kunlik yuk oqimlarini tugunlarga yo'naltirish
Transport operatsiyalari	Park modeli va texnologik standart	Park tarkibi, servis va tashuvchi portfeli	Buyurtma biriktirish, marshrut va dispetcherlik
Raqamlashtirish	Ma'lumotlar arxitekturasini va platforma tanlash	Tizimlarni integratsiya qilish va analitika	Real vaqt monitoringi va og'ishlarga javob
Iqtisodiy mexanizm	Investitsiya va hamkorlik modeli	Tarif, SLA, bonus-malus va budget	To'lov, jarima va kundalik xarajat nazorati
Risk va ekologiya	Rezilyentlik va dekarbonizatsiya siyosati	Muqobil quvvat, sug'urta va energiya rejasi	Xavf signali, eco-driving va favqulodda choralar

Manba: muallif tomonidan ishlab chiqilgan.

O'zbekistonning dengiz portlariga bevosita chiqish imkoniyati mavjud emasligi, xalqaro tashuvlarda bir nechta davlat hududidan o'tish zarurati va ichki hududlar o'rtasidagi masofalar ta'minot zanjirlarida avtomobil transportining moslashuvchan bog'lovchi rolini kuchaytiradi. Shu bilan birga xalqaro koridorlar, chegara

punktlari, multimodal terminallar va ichki distributsiya tarmoqlarining o'zaro muvofiqligi alohida ahamiyatga ega. Transport vazirligining amaldagi vazifalarida logistika xizmatlari bozorini rivojlantirish, tadbirkorlarning transport-logistika xarajatlarini kamaytirish, koridorlarni diversifikatsiya qilish va multimodal tashuvlarni rivojlantirish yo'nalishlari belgilangan [3].

Milliy sharoitda birinchi ustuvor yo'nalish – hujjatlar va chegara jarayonlarini raqamlashtirishdir. Elektron navbat, ECMR, elektron ruxsatnomalar, transport va bojxona ma'lumotlarini oldindan uzatish avtomobilning jismoniy harakatini tezlashtirmasa ham, bekor turish vaqtini va rejalashtirish noaniqligini kamaytiradi. [4].

Ikkinchi ustuvor yo'nalish – hududiy logistika markazlari va avtomobil–temir yo'l aloqalarini yuk oqimlari asosida rivojlantirishdir. Logistika markazini faqat ombor maydoni sifatida emas, konsolidatsiya, bojxona, qadoqlash, cross-docking, transport vositalariga servis va axborot almashish funksiyalarini birlashtiruvchi tugun sifatida tashkil etish zarur.

Uchinchi ustuvor yo'nalish – tashuvchilar bozorining axborot integratsiyasi va kooperatsiyasidir. Kichik transport korxonalari uchun individual ravishda qimmat bo'lgan TMS, elektron hujjat, sug'urta, qaytish yuklarini qidirish va yoqilg'i boshqaruvi xizmatlarini umumiy platforma yoki logistika provayderi orqali taqdim etish mumkin.

To'rtinchi ustuvor yo'nalish – xizmat natijalarini standart ko'rsatkichlar asosida boshqarishdir. Transport korxonalari faoliyatini faqat tashilgan tonna yoki tushum bilan baholash zanjirga yaratilgan qiymatni to'liq aks ettirmaydi. CO₂ intensivligi, chegara kutishi va tiklanish vaqti kabi ko'rsatkichlar yagona monitoring panelida yuritilishi lozim.

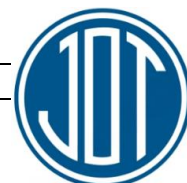
Beshinchi ustuvor yo'nalish – riskka asoslangan va ekologik jihatdan oqilona transport siyosatidir. Muqobil yo'nalishlar, transport quvvati rezervi, chegara va yo'l holati bo'yicha real vaqt axboroti, haydovchilar xavfsizligi hamda yukni himoya qilish choralari kuchaytirish zanjir uzilishlarining oqibatini kamaytiradi.

O'zbekiston transport-logistika tizimini rivojlantirishga oid amaliy choralarda elektron navbat, konteyner tashuvlarini kengaytirish va logistika samaradorligini oshirish maqsadlari ilgari surilmoqda [5]. Mazkur vazifalarni avtomobil transporti ta'minot zanjiri darajasida amalga oshirish uchun davlat, logistika operatorlari, yuk jo'natuvchilar, transport korxonalari, raqamli platformalar va ta'lim muassasalari o'rtasida uzviy hamkorlik talab etiladi.

Avtomobil transporti logistikasida ta'minot zanjirlarini rivojlantirish ko'p obyektli va ko'p mezonli boshqaruv vazifasi bo'lib, uni bitta texnologiya yoki tashkiliy chora bilan hal etish mumkin emas.

Taklif etilgan mualliflik tasnifi rivojlantirish usullarini o'nta guruhga ajratadi: institutsional-huquqiy, tashkiliy-integratsion, infratuzilmaviy va tarmoq, transport-texnologik, raqamli-axborot, iqtisodiy-moliyaviy, servis, risk va rezilyentlik, ekologik-resurs tejankor hamda inson kapitali-innovatsion usullar.

Rivojlantirish usulini tanlash zanjir diagnostikasi, aniq maqsadli ko'rsatkichlar, muqobil variantlarni ko'p mezonli baholash, iqtisodiy samarani hisoblash, risk va sinergiyani tahlil qilish hamda bosqichma-bosqich joriy etishga asoslanishi kerak.



3. Xulosa

O'zbekiston sharoitida elektron hujjatlar, hududiy logistika markazlari, umumiy raqamli platformalar, standart samaradorlik ko'rsatkichlari, risk boshqaruvi hamda park va kadrlar salohiyatini yangilash ustuvor. Ularning muvofiqlashtirilishi xarajatlarni kamaytirib, yetkazib berish ishonchliligi va xalqaro integratsiyani kuchaytiradi. Avtomobil transportining zanjirdagi roli uning eshikdan eshikkacha yetkazish imkoniyati bilan cheklanmaydi. U talab o'zgarishiga moslashish, multimodal tugunlarni bog'lash, hududiy taqsimot va so'nggi milni bajarish orqali zanjirning tezkorligini shakllantiradi. Shu sababli avtomobil logistikasini rivojlantirish bo'yicha qarorlar transport korxonasi chegarasidan chiqib, ishlab chiqarish, ombor, savdo, bojxona, moliya va raqamli axborot tizimlari bilan integratsiyada qabul qilinishi lozim.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Minken H., Johansen B. G. A logistics cost function with explicit transport costs // *Economics of Transportation*. 2019. Vol. 19. Article 100116. DOI: 10.1016/j.ecotra.2019.04.001.
- [2] Mosca A., Vidyarthi N., Satir A. Integrated transportation-inventory models: A review // *Operations Research Perspectives*. 2019. Vol. 6. Article 100101. DOI: 10.1016/j.orp.2019.100101.
- [3] Madadi A., Kurz M. E., Ashayeri J. Multi-level inventory management decisions with transportation cost consideration // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 719–734.
- [4] Cui Z., Solak S., Johnson E. L. The inventory routing problem under uncertainty // *Operations Research*. 2023. DOI: 10.1287/opre.2022.2407.
- [5] Coelho L. C., Cordeau J.-F., Laporte G. Thirty years of inventory routing // *Transportation Science*. 2014. Vol. 48. No. 1. P. 1–19.
- [6] Qin H., Zhang Z., Qi Z., Lim A. The freight consolidation and containerization problem // *European Journal of Operational Research*. 2014. Vol. 234. No. 1. P. 37–48. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.015.
- [7] Bookbinder J. H., Higginson J. K. Probabilistic modeling of freight consolidation by private carriage // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2002. Vol. 38. No. 5. P. 305–318.
- [8] Hong K., Lee C. Optimal time-based consolidation policy with price-sensitive demand // *International Journal of Production Economics*. 2013.
- [9] Moon I. K., Cha B. C., Lee C. The joint replenishment and freight consolidation of a warehouse in a supply chain // *International Journal of Production Economics*. 2011. Vol. 133. No. 1. P. 344–350.
- [10] Popken D. A. An algorithm for the multiattribute, multicommodity flow problem with freight consolidation and inventory costs // *Operations Research*. 1994. Vol. 42. No. 2. P. 274–286. DOI: 10.1287/opre.42.2.274.
- [11] Bertazzi L., Savelsbergh M., Speranza M. G. Inventory routing // In: *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer, 2008.
- [12] Kleywegt A. J., Nori V. S., Savelsbergh M. W. P. The stochastic inventory routing problem with direct deliveries // *Transportation Science*. 2002. Vol. 36. No. 1. P. 94–118.
- [13] Archetti C., Bertazzi L., Laporte G., Speranza M. G. A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem // *Transportation Science*. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 382–391.
- [14] М.С.Буриходжаева "Методы совершенствования и улучшения качества управления в железнодорожном транспорте "Экономика и социум" №12(103) 2022
- [15] Юлдашева С, БўриходжаеваМ "Повышение эффективности таможенной деятельности в развитии международного экономического сотрудничества " international scientific and practical conference" the time of scientific progress" 2022/9/10 (87-91)
- [16] М.С.Бўрихаджаева«мамлакат "Иктисодиётида автомобил транспорти коридорларини ривожлантириш истикболлари» oriental renaissance: innovative, educational, natural and social sciences 3(1/2), jan., 2023й ст 338-345
- [17] М.С.Бўрихаджаева "Маркетинговый подход в деятельности предприятия " Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences 3(4/2) апрель 2023 (653-661 бет).

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

Burihodjayeva Maloxat Sobitovna / Malokhat Burikhodjaeva	Toshkent davlat transport universiteti "Transport logistikasi" kafedrasida katta o'qituvchisi, E-mail: maloxatburixadjaeva@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-9396-4428
--	---



Methods for analyzing complex electrical circuits

A.A. Rakhmonberdiyev¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article presents a detailed study and comparative analysis of three main methods for analyzing complex electrical circuits: the nodal potential method, the loop current method, and the state variable method. The analysis made it possible to identify the strengths and weaknesses of each method, as well as their applicability and efficiency under various conditions.

Despite the widespread use of the nodal potential method and the loop current method, they require the solution of parametric matrices and integro-differential equations, which makes their application labor-intensive and time-consuming. In contrast, the state variable method demonstrates high efficiency and accuracy in analyzing circuits with nonlinear elements by formulating a system of first-order differential equations without the need to process parametric matrices.

The state variable method significantly simplifies the analysis of complex electrical circuits and reduces computational time. Thus, this method is the most suitable for analyzing complex electrical circuits, providing fast and accurate evaluation with minimal resource consumption, which confirms its advantage for practical application in the field of automation and telemechanics in railway transport.

Keywords:

methods of analysis of complex electrical circuits, mathematical modeling, method of nodal potentials, method of loop currents, method of state variables, Kirchhoff's laws of currents and voltages, parametric matrix, topological matrix, transposed matrix

Murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullari

Raxmonberdiyev A.A.¹ 

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada murakkab elektr sxemalarni tahlil qilishning uchta asosiy usuli: tugun potentsiallari usuli, kontur toklar usuli va holat o'zgaruvchilari usulining batafsil o'rganilishi va solishtirma tahlili amalga oshirildi. Tahlil har bir usulning kuchli va zaif tomonlarini, shuningdek, ularning qo'llanilishi va samaradorligini turli sharoitlarda aniqlash imkonini berdi.

Tugun potentsiallari usuli va kontur toklar usulining keng qo'llanilishiga qaramay, ular parametrik matritsalarini va integratsion-differensial tenglamalarni yechishni talab qiladi, bu esa ularning qo'llanilishini mehnat talab qiladigan va vaqtni talab qiladigan holga keltiradi. Ulardan farqli o'laroq, holat o'zgaruvchilari usuli, chiziqli bo'lmagan elementlarga ega bo'lgan sxemalarni tahlil qilishda yuqori samaradorlik va aniqlikni namoyish etadi, parametrik matritsalarini qayta ishlashsiz birinchi tartibli differensial tenglamalar tizimini shakllantiradi.

Holat o'zgaruvchilari usuli murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi va vaqt sarfini kamaytiradi. Shunday qilib, ushbu usul murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish uchun eng maqbul usul bo'lib, resurslarni minimal sarflab, tez va aniq baholashni ta'minlaydi, bu uning temir yo'l transportida avtomatika va telemexanika sohasida amaliy qo'llanish uchun afzalligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar:

murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullari, matematik modellash, tugun potentsiallari usuli, kontur toklar usuli, holat o'zgaruvchilari usuli, Kirxgofning tok va kuchlanish qonunlari, parametrik matritsa, topologik matritsa, transpozitsiyalangan matritsa

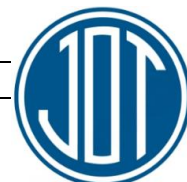
1. Kirish

So'nggi yillarda elektr energetika tizimlari, xususan, murakkab strukturaga ega elektr sxemalarni matematik modellash va tahlil qilish masalalari dolzarb ilmiy-texnik yo'nalishlardan biri sifatida rivojlanib bormoqda. Bunday tizimlarning murakkabligi ularning tarkibida chiziqli va chiziqsiz elementlar, energiya to'plovchi reaktiv

komponentlar hamda o'zaro kuchli bog'langan tarmoqlarning mavjudligi bilan izohlanadi. Shu sababli, elektr zanjirlarni aniq va ishonchli tahlil qilish uchun universal va samarali matematik usullarni qo'llash zarur hisoblanadi.

Hozirgi kunda murakkab elektr sxemalarni tahlil qilishda tugun potentsiallari usuli, kontur toklar usuli hamda holat o'zgaruvchilari usuli keng qo'llaniladigan asosiy

 <https://orcid.org/0009-0006-0585-7582>



klassik yondashuvlar sifatida e'tirof etiladi. Ushbu usullar elektr zanjirlarning statik va dinamik holatlarini modellashtirish, o'tish jarayonlarini tahlil qilish hamda barqarorlik mezonlarini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Ularning matematik asosini Kirxgof qonunlari hamda elementlarning volt-ampere xarakteristikalarini tashkil etadi [1-3].

Elektr sxemalarni formal ifodalashda graf nazariyasi muhim rol o'ynaydi, bunda sxema elementlari tugunlar va tarmoqlar orqali ifodalanadi. Yo'naltirilgan graf asosida shakllantirilgan model elektr zanjirning topologik tuzilmasini to'liq aks ettiradi. Ushbu topologik model asosida tugunlar va konturlar uchun inkidensiya hamda bog'lanish matritsalarini tuziladi, bu esa elektr zanjirni vektor-matritsali ko'rinishda ifodalash imkonini beradi.

Mazkur matematik yondashuvda elektr sxema tenglamalari parametrik matritsalar asosida shakllantiriladi, bunda har bir elementning fizik parametrlari (qarshilik, induktivlik, sig'im va boshqalar) alohida hisobga olinadi [1-3]. Natijada hosil bo'lgan yuqori tartibli algebrak va differensial tenglamalar tizimi zamonaviy sonli usullar yordamida yechiladi. Biroq, amaliy hisoblash jarayonida ushbu tizimlarning murakkabligi hisoblash resurslariga bo'lgan talabni oshiradi va algoritmik jihatdan sezilarli qiyinchiliklar tug'diradi.

Shu nuqtayi nazardan, elektr sxemalarni tahlil qilish usullarining matematik tuzilmasini chuqur o'rganish, ularning hisoblash samaradorligini baholash hamda murakkab tizimlar uchun eng optimal yondashuvni aniqlash dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi. Ayniqsa, chiziqli elementlarni o'z ichiga olgan sxemalarda an'anaviy usullarning cheklovlarini kamaytirish va hisoblash jarayonini optimallashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Shuning uchun ushbu ishda murakkab elektr sxemalarni tahlil qilishning asosiy usullari chuqur tahlil qilinib, ularning matematik asoslari, qo'llanilish sohalari hamda hisoblash samaradorligi o'rganiladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tugun potentsiallari va Kontur toklar usullari

Tugun potentsiallari usuli. Tugun potentsiallari usuli tadqiq qilinayotgan elektr zanjirda tugunlar soni mustaqil konturlar soniga teng yoki undan kam bo'lgan hollarda qo'llaniladi [2]. Ushbu usul sxemadagi barcha tugun potentsiallari uchun vektor-matritsali tenglamani olish imkonini beradi. Bunda tugun nuqtalarining potentsiallar vektori ($V^Y(t)$) quyidagi ko'rinishga ega:

$$V^Y(t) = -(A \cdot Y \cdot A^T)^{-1} \cdot A \cdot \Theta \quad (1)$$

Bu yerda: A – tugunlar matritsasi; Y – o'tkazuvchanliklarning diagonal matritsasi; A^T – A matritsasining transponirlangan ko'rinishi; Θ – kuchlanish manbalari toklarining noma'lum qiymatlari vektori.

(1) tenglamadagi satrlar soni ($N^Y - 1$) ga teng bo'lib, bu yerda N^Y – tugunlar soni. Ushbu tenglama integro-differensial tenglamalar tizimini ifodalaydi. Bu tenglamalarda sig'imlardagi toklar kuchlanishning hosilasi orqali, induktivliklardagi toklar esa mos reaktiv elementlar kuchlanish funksiyalarining integrali orqali aniqlanadi.

Kontur toklar usuli. Keyingi usul – kontur toklar usuli bo'lib, u murakkab elektr zanjirlarni hisoblashning asosiy usullaridan biri hisoblanadi va amaliyotda keng qo'llaniladi

[3]. Ushbu usulning mohiyati shundan iboratki, tarmoqlardagi toklar o'rniga Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan konturlarda yopiluvchi kontur toklar aniqlanadi.

Kontur toklar usulida barcha kontur toklariga nisbatan tenglamalar tizimi qo'llaniladi. Kontur toklar vektori ($I^C(t)$) quyidagi ifoda bilan aniqlanadi (2):

$$I^C(t) = -(B \cdot Z \cdot B^T)^{-1} \cdot B \cdot v \quad (2)$$

Bu yerda: Z – elementlar qarshiliklarining diagonal matritsasi; v – tok manbalari kuchlanishlarining noma'lum kattaliklari vektori; B – konturlar matritsasi; B^T – B matritsasining transponirlangan ko'rinishi.

(2) ifoda vektor-matritsali tenglama bo'lib, unda graf bog'lanishlarining barcha kontur toklari aniqlanadi.

Kontur toklar usulidan foydalanish tugun potentsiallari usulidan foydalanishdagi kabi parametrik matritsalariga murojat qilishni talab etadi – birinchi holatda ($A \cdot Y \cdot A^T$), ikkinchi holatda ($B \cdot Z \cdot B^T$). Matritsalarini teskari aylantirish (inversiyalash) barcha matritsali amallar ichida eng murakkab va vaqt talab qiladigan jarayon hisoblanadi.

Holat o'zgaruvchilari usuli

Ma'lumki, sxemaning holati reaktiv elementlarda to'plangan energiya hamda mustaqil tok va kuchlanish manbalari bilan aniqlanadi. Kondensator zaryadi va induktivlik g'altaklarining magnit oqim bog'lanishi holat o'zgaruvchilari hisoblanadi. Sig'imlardagi kuchlanishlar va induktivliklardagi toklar, agar ularning qiymatlari o'zgarmas bo'lsa, holat o'zgaruvchilari sifatida qabul qilinadi.

Holat o'zgaruvchilari usuli yordamida induktivliklardagi kuchlanishlar va sig'imlardagi toklar, shuningdek, sxemaning noreaktiv elementlaridagi kuchlanish va toklar ($y(t)$) holat o'zgaruvchilari ($x(t)$) hamda mustaqil tok va kuchlanish manbalari ($u(t)$) orqali ifodalanadi.

Agar mustaqil tok va kuchlanish manbalari ma'lum bo'lsa va holat o'zgaruvchilarining boshlang'ich qiymatlari ($x(t)$) berilgan bo'lsa, u holda (3) va (4) tenglamalar yordamida noreaktiv elementlardagi kuchlanish va toklar vektori – $y(t)$, shuningdek boshlang'ich vaqt momenti uchun induktivliklardagi kuchlanishlar va sig'imlardagi toklar aniqlanadi.

$$\dot{x}(t) = f_1[x(t), u(t)], \quad (3)$$

$$y(t) = f_2[x(t), u(t)]. \quad (4)$$

Differensial tenglama (4) ni yechish orqali ma'lum vaqt oralig'ining oxiri (integratsiya qadami) uchun holat o'zgaruvchilari vektori $x(t)$ aniqlanadi. Olingan $x(t)$ qiymati keyingi integratsiya qadami uchun boshlang'ich qiymat sifatida qabul qilinadi. Ushbu jarayon berilgan iteratsiyalar sonigacha takrorlanadi [1].

Kontur-tarmoq topologik matritsasi (F -matritsa) holat o'zgaruvchilari usuli algoritmining asosini tashkil etadi. Kirxgofning tok va kuchlanish qonunlari F -matritsa orqali ifodalanadi:

$$U^C(t) = -F \cdot U^B \quad (5)$$

$$I^B(t) = F^T \cdot I^C \quad (6)$$

u yerda:

$U^C(t)$, $I^C(t)$ – sxemaning yo'nalgan grafidagi bog'lanishlar kuchlanish va toklar vektorlari; $U^B(t)$, $I^B(t)$ – tarmoqlar kuchlanish va toklar vektorlari; F^T – F matritsasining transponirlangan ko'rinishi.

Murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullarini asosiy xususiyatlar bo'yicha solishtirish

Murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullari asosiy xususiyatlari bo'yicha solishtirildi. Yuqorida ko'rib



chiqilgan usullarni taqqoslash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullarining solishtirma jadvali

Usullarning asosiy xususiyatlari	Murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullari		
	“Tugun potentsiallari usuli”	“Kontur toklar usuli”	“Holat o‘zgaruvchilari usuli”
Kirxgofning tok va kuchlanish qonunlarini qo‘llash	Ha	Ha	Ha
Integro-differensial tenglamalarni qo‘llash	Ha*	Ha*	Yo‘q
Parametrik matritsalaridan foydalanish	Ha**	Ha**	Yo‘q
Topologik matritsa	Yo‘q	Yo‘q	Ha
Katta vaqt sarfini talab qilmaydi	Yo‘q	Yo‘q	Ha
Birinci tartibli differensial tenglamalar tizimini olish imkoniyati	Yo‘q	Yo‘q	Ha
Chiziqliq elementlarga qo‘llanishi	Cheklangan	Cheklangan	Yuqori
Tenglamalarni yechish murakkabligi	Murakkabligi yuqori (matritsani teskari qilish talab etiladi)	Murakkabligi yuqori (matritsani teskari qilish talab etiladi)	Murakkab emas (matritsani teskari qilish talab etilmaydi)
Tahlil aniqligi	Tahlil aniqligi yuqori, ammo mehnat talab qiladi	Tahlil aniqligi yuqori, ammo mehnat talab qiladi	Tahlil aniqligi yuqori va samarali
Afzalliklari	Aniqlik, nazariyada qo‘llanishi	Aniqlik, nazariyada qo‘llanishi	Yuqori samaradorlik va aniqlik, foydalanish qulayligi, tez hisoblash
Kamchiliklari	Murakkabligi yuqori bo‘gani uchun mehnat talab etadi, vaqt sarfi katta	Murakkabligi yuqori bo‘gani uchun mehnat talab etadi, vaqt sarfi katta	Sezilarli kamchiliklari yo‘q

Izohlar:

*Integrall-differensial tenglamalar birinchi tartibli differensial tenglamalarga qaraganda murakkabroq bo‘lib, ularni yechish ko‘proq vaqt sarfini talab qiladi;

**Parametrik matritsalarini teskari aylantirish matritsalar ustidagi barcha amallar ichida eng mehnat talab qiladigan operatsiya bo‘lib, ko‘p vaqt sarflashni talab qiladi.

Holat o‘zgaruvchilari usulida differensial tenglamalar soni sxemadagi reaktiv elementlar soniga teng. Holat o‘zgaruvchilari usulining afzalligi shundaki, u parametrik matritsalarini teskari aylantirishni talab qilmaydi va birinchi tartibli, oson yechiladigan differensial tenglamalarni olish imkonini beradi. Yuqorida keltirilgan murakkab elektr sxemalarni tahlil qilish usullarining solishtirma natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Holat o‘zgaruvchilari usulidan amaliy foydalanishga misol sifatida temir yo‘l avtomatika va telemexanika tizimlarining elektr sxemalarini va ularning energiya tizimlari bilan bog‘lanish sxemalarini, jumladan, temir yo‘lning o‘zgaruvchan tok tortish tarmog‘idagi murakkab elektromagnit jarayonlarni, ularning avtomatika va telemexanika tizimlari qurilma va elementlariga ta’sirlarini hamda ushbu ta’sirlardan himoya qilish vositalarining samaradorligini murakkab parametrik matritsalariga murojat qilmasdan turib samarali tahlil qilish imkoniyatini qo‘shish mumkin. Natijada himoya qurilmalarini loyihalash, elektromagnit moslashuvchanlikni baholash va tortish tarmoqlarida kommutatsiya rejimlarini optimallashtirish bo‘yicha ilmiy hulosalarga ega bo‘lish mumkin. [4-6] ilmiy ishlarda holat o‘zgaruvchilari usulidan samarali foydalanib olib borilgan tadqiqotlar va ularning natijalari keltirib o‘tilgan.

3. Xulosa

O‘tkazilgan tahlil shuni tasdiqladiki, holat o‘zgaruvchilari usuli murakkab elektr sxemalarini tahlil qilish uchun eng samarali va aniq usul hisoblanadi, ayniqsa chiziqliq elementlarni o‘z ichiga olgan sxemalarda. Tugun potentsiallari usuli va kontur toklar usuli parametrik matritsalarini teskari aylantirish hamda integral-differensial tenglamalarni yechishni talab qilishi bilan farqlanadi, holat o‘zgaruvchilari usuli esa birinchi tartibli differensial tenglamalar tizimini shakllantirish imkonini beradi, bu esa yechish jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi va vaqt sarfini kamaytiradi.

Holat o‘zgaruvchilari usulining afzalligi faqatgina yuqori aniqlik va tezkor tahlilni ta’minlash qobiliyatida emas, balki mehnat sarfi va hisoblash resurslarini kamaytirishidir. Bu esa mazkur usulni temir yo‘l avtomatika va telemexanika sohasida amaliy qo‘llash uchun ayniqsa muhim qiladi, chunki bu sohada tahlilning tezkorligi va aniqligi hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Shunday qilib, tadqiqot natijalari holat o‘zgaruvchilari usulini murakkab elektr sxemalarini tahlil qilishda ustuvor usul sifatida qarash lozimligini ko‘rsatadi, chunki u resurslardan yanada samarali va oqilona foydalanishni ta’minlaydi.



Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Чахмахсаян, Е.А. Машинный анализ интегральных схем. Вопросы теории и программирования / Е.А. Чахмахсаян, Ю.Н. Бармаков, А.Э. Гольденберг. - М.: Советское радио, 1974. - 272 с.
- [2] Шакурский В.К. Теоретические основы электротехники: в 2 ч. Ч.1. Аналитические и численные методы анализа установившихся режимов в электрических цепях: учебное пособие / В.К. Шакурский. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. – 219 с.
- [3] Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. /Г.И. Атабеков. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 592 с.
- [4] Манаков, А.Д. Опасные электромагнитные воздействия тяговой сети переменного тока напряжением 25 кВ на устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. / А.Д. Манаков, А.А. Рахмонбердиев // Цифровые инфокоммуникационные технологии: сборник научных трудов ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2021. – С. 162-174.
- [5] Манаков, А.Д. Опасное электромагнитное воздействие обратной тяговой сети переменного тока

напряжением 25 кВ на устройства ЖАТ / А.Д. Манаков, А.А. Рахмонбердиев // Автоматика на транспорте. – СПб., 2022. – №3, том 8, – С. 233-251. – DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-233-251.

[6] Raxmonberdiyev A.A. “O‘zbekiston temir yo‘llari” aksiyadorlik jamiyatining temir yo‘l avtomatika va telemexanika qurilmalariga ortiqcha kuchlanishlarning ta’siri / A.A. Raxmonberdiyev // Journal of Transport. – 2025. – №8, 2-jild. – 223-231 b.

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

Raxmonberdiyev Abdulaziz Abdimajitovich / Abdulaziz Rakhmonberdiyev	Toshkent davlat transport universiteti “Avtomatika va telemexanika” kafedrasida dotsenti v.b. E-mail: raa19860102@mail.ru Tel.: +998990869417 https://orcid.org/0009-0006-0585-7582
---	---



Developing mechanisms for evaluating the relationships between supply chain participants

M.S. Burikhodjaeva¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

In the modern economy, the competitiveness of a product is determined not only by the internal efficiency of the enterprise that produces it. The decisions of all branches, from the supplier of raw materials to the manufacturer, transport forwarding organization, warehouse operator, distributor, retail entity, financial and insurance institutions and the final consumer, jointly affect the cost of products, delivery time and quality of Service. Therefore, the analysis of the relationships between participants in the economic mechanism of the supply chain represents a broader scientific task than describing the activities of individual enterprises. The supply chain is a system of technological sequences on the one hand and economic interests on the other. While a technological sequence represents the flow of a product from one operation to another, an economic system encompasses the decisions of each participant aimed at generating revenue, reducing costs, strengthening market position, and limiting risk.

Keywords:

distributor, transaction, digital-Information, Service and customer-oriented, Risk, security and resilience, human capital and innovation, institutional-legal, organizational-integrative, Transport-technological and operational, SCM (supply chain management), SCOR, ASCM, supply concept, paradigm, infrastructure, risk, resilience, environmental, logistics concept, innovation development, optimization, complex management, strategy, resource, supply chain planning

Ta'minot zanjiri ishtirokchilari munosabatlarini baholash mexanizmlarini ishlab chiqish

Burixodjayeva M.S.¹ ^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Zamonaviy iqtisodiyotda mahsulotning raqobatbardoshligi faqat uni ishlab chiqaruvchi korxonaning ichki samaradorligi bilan belgilanmaydi. Xomashyo yetkazib beruvchidan boshlab, ishlab chiqaruvchi, transport-ekspeditorlik tashkiloti, ombor operatori, distribyutor, chakana savdo subyekti, moliyaviy va sug'urta institutlari hamda yakuniy iste'molchigacha bo'lgan barcha bo'g'inlarning qarorlari mahsulot tannarxi, yetkazib berish muddati va xizmat sifatiga birgalikda ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi ishtirokchilarining o'zaro munosabatlarini tahlil qilish alohida korxonalar faoliyatini tavsiflashdan ko'ra kengroq ilmiy vazifani anglatadi.

Ta'minot zanjiri bir tomondan texnologik ketma-ketlik, ikkinchi tomondan iqtisodiy manfaatlar tizimidir. Texnologik ketma-ketlik mahsulotning bir operatsiyadan boshqasiga o'tishini ifodalasa, iqtisodiy tizim har bir ishtirokchining daromad olish, xarajatni kamaytirish, bozor mavqeyini mustahkamlash va tavakkalchilikni cheklashga qaratilgan qarorlarini qamrab oladi.

Kalit so'zlar:

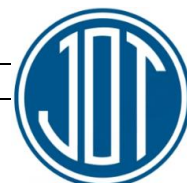
distribyutor, tranzaksiya, raqamli-axborot, servis va mijozga yo'naltirilgan, risk, xavfsizlik va rezilyentlik, Inson kapitali va innovatsiya, institutsional-huquqiy, tashkiliy-integratsion, Transport-texnologik va operatsion, SCM (yetkazib berishlar zanjiri boshqarish), SCOR, ASCM, ta'minot tushunchasi, paradigma, Infratuzilma, risk, rezilyentlik, ekologik, logistika tushunchasi, innovatsion rivojlantirish, optimallashtirish, kompleks boshqarish, strategiya, resurs, yetkazib berishlar zanjirini rejalashtirish

1. Kirish

Zamonaviy iqtisodiyotda mahsulotning raqobatbardoshligi faqat uni ishlab chiqaruvchi korxonaning ichki samaradorligi bilan belgilanmaydi. Xomashyo yetkazib beruvchidan boshlab, ishlab chiqaruvchi, transport-ekspeditorlik tashkiloti, ombor operatori, distribyutor,

chakana savdo subyekti, moliyaviy va sug'urta institutlari hamda yakuniy iste'molchigacha bo'lgan barcha bo'g'inlarning qarorlari mahsulot tannarxi, yetkazib berish muddati va xizmat sifatiga birgalikda ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi ishtirokchilarining o'zaro munosabatlarini tahlil qilish alohida korxonalar faoliyatini tavsiflashdan ko'ra kengroq ilmiy vazifani anglatadi.

^a <https://orcid.org/0000-0002-9396-4428>

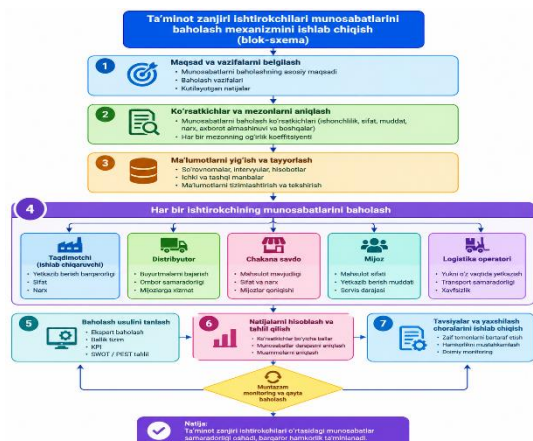


Ta'minot zanjiri bir tomondan texnologik ketma-ketlik, ikkinchi tomondan iqtisodiy manfaatlar tizimidir. Texnologik ketma-ketlik mahsulotning bir operatsiyadan boshqasiga o'tishini ifodalasa, iqtisodiy tizim har bir ishtirokchining daromad olish, xarajatni kamaytirish, bozor mavqeyini mustahkamlash va tavakkalchilikni cheklashga qaratilgan qarorlarini qamrab oladi.

Mentzer va hammualliflar ta'minot zanjirini boshqarishni korxonalar ichidagi hamda ular o'rtasidagi an'anaviy biznes funksiyalarini tizimli va strategik muvofiqlashtirish sifatida izohlaydi. Lambert va Cooper esa ta'minot zanjiri boshqaruvini tarmoq tuzilishi, biznes jarayonlari va boshqaruv komponentlarining o'zaro bog'liqligi orqali tushuntiradi.

Mazkur materialning maqsadi ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi ishtirokchilarining o'zaro munosabatlarini tarkibiy, funksional, shartnomaviy, iqtisodiy, axborot, xulq-atvor va tavakkalchilik o'lchamlari bo'yicha tizimli tahlil qilish, manfaatlar qarama-qarshiligi hamda muvofiqlashtirish vositalarini ilmiy asoslash va O'zbekiston amaliyoti uchun metodik xulosalar ishlab chiqishdan iborat.

Iqtisodiy mexanizm iqtisodiy subyektlarning maqsadlari, resurslari va xatti-harakatlarini muayyan natijaga yo'naltiruvchi tamoyillar, usullar, shartnomalar, rag'batlar, cheklovlar va nazorat vositalari majmuasidir. Williamsonning tranzaksiya xarajatlari yondashuvi bozor bitimining narxdan tashqari xarajatlarini – hamkorni izlash, muzokara, nazorat, shartnomani bajarishga majburlash va opportunistik xatti-harakatlardan himoyalash xarajatlarini – alohida tahlil qilish zarurligini ko'rsatadi. Agentlik nazariyasi esa topshiriq beruvchi va uni bajaruvchi tomon o'rtasidagi maqsadlar farqi hamda axborot nomutanosibligini markazga qo'yadi. Ta'minot zanjirida ishlab chiqaruvchi tashuvchiga yetkazib berish vazifasini beradi, chakana savdo tarmog'i ishlab chiqaruvchidan xizmat darajasini talab qiladi, bank esa moliyalashtirilayotgan ishtirokchining riskini baholaydi.



1-rasm. Ta'minot zanjiri ishtirokchilari munosabatlarini baholash mexanizmlarini ishlab chiqish

2. Tadqiqot metodologiyasi

Taklif etilayotgan yondashuvga ko'ra, ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi yetti tarkibiy qatlamdan iborat: ishtirokchilar tarkibi; ular o'rtasidagi aloqalar; shartnomaviy qoidalar; narx va to'lovlar; axborot almashinuvi; risk hamda javobgarlikni taqsimlash; natijani baholash va boshqaruv

organlari. Ushbu qatlamlarni quyidagi tizimli ifoda orqali ko'rsatish mumkin:

$$EM_{SC} = \{N, A, C, P, I, R, G\} \quad (1)$$

EM_{SC} – ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi;

Mazkur ifoda iqtisodiy mexanizmi faqat narx yoki shartnoma bilan cheklamaslik kerakligini ko'rsatadi. Masalan, aniq shartnoma mavjud bo'lsa-da, buyurtma ma'lumoti kech uzatilsa yoki javobgarlik ko'rsatkichi o'lchanmasa, zanjir natijasi pasayishi mumkin. Aksincha, uzoq muddatli ishonch mavjud bo'lgan hamkorlikda barcha holatlarni batafsil shartnomalashtirish talab etilmaydi. Shuning uchun rasmiy va norasmiy boshqaruv vositalari bir-birini to'ldiradi.

1-jadval

Ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi ishtirokchilarining funksiyalari va manfaatlari

Ishtirokchi	Asosiy funksiyasi	Iqtisodiy manfaat	Nazorat qiladigan resurs	Asosiy tavakkalchilik
Yetkazib beruvchi	Xomash yo, butlovchi qism yoki xizmatni taqdim etish	Barqaror buyurtma, quvvat bandligi, o'z vaqtida to'lov	Xomashyo, ishlab chiqarish quvvati, texnologiya	Talab pasayishi, narx o'zgarishi, to'lov kechikishi
Ishlab chiqaruvchi	Resurslarni tayyor mahsulotga aylantirish va zanjirni tashkil etish	Tannarxni kamaytirish, sotuv va bozor ulushini oshirish	Mahsulot dizayni, ishlab chiqarish rejasini, brend	Ta'minot uzilishi, ortiqcha zaxira, sifat va sotuv riski
Transport/ekspeditor	Yuk harakati ni rejalashtirish va bajarish	Transport quvvatini yuqori band qilish, foydali tarif	Avtopark, tashuvchilar tarmog'i, marshrut axboroti	Bo'sh yurish, yoqilg'i narxi, kechikish, yuk zarari
Ombor/terminal	Saqlash, konsolidatsiya, qayta ishlash va jo'natish	Maydon va uskunalaridan unumli foydalanish	Omborsig'im, texnika, joylashuv	Quvvatning past bandligi, zarar, inventar tafovuti
Distribyutor/savdo	Talabni shakllantirish va mahsulot	Savdo marjasi, assortiment	Mijoz ma'lumoti, sotuv	Talab noaniqligi, eskiris

	tni bozorga chiqarish	aylanish i, xizmat darajasi	kanali, bozor kirishi	h, yetish movchilik
3PL/4PL operator	Ko'p operatsiyalarni integratsiyalash va tarmoqni muvofiq lashtirish	Xizmat paketi daromad i, miqyos iqtisodi	Axborot platfor masi, hamkorlar va kompetensiya	Xizmat uzilishi, subpudratchi sifati, kiberxavf
Bank/sug'urta	Aylanma mablag', kafolat, riskni moliyaviy qoplash	Foiz, komissiya, sug'urta mukofoti	Kapital, risk baholash modeli	Kredit qaytmasligi, noto'g'ri risk bahosi
Davlat organlari	Qoidalar, nazorat, infratuzilma va jamoat manfaatini ta'minlash	Soliq tushumi, xavfsizlik, iqtisodiy faollik	Normativ vakolat, ma'lumot va infratuzilma	Ortiqcha tartib-taomil, bozordagi nomutanosiblik
Yakuniy iste'molchi	Talabni yuzaga keltirish va qiymatni baholash	Kerakli mahsulotni maqbul narx va vaqtda olish	Tanlov, to'lov va fikr-mulohaza	Kechikish, sifat nomuvofiqligi, yuqori narx

Jadvaldan ko'rinadiki, bir xil qaror turli ishtirokchilar uchun turlicha iqtisodiy oqibat yaratadi. Katta partiyada yetkazib berish tashuvchining avtomobil sig'imidani foydalanishini va ishlab chiqaruvchining tashish xarajatini yaxshilashi mumkin, biroq distribyutor zaxirasini oshiradi. Shu sababli alohida ishtirokchining optimal qarori butun zanjir uchun optimal bo'lishi shart emas.

Har bir ishtirokchining iqtisodiy foydaliligi daromad, xarajat, risk, majburiyat va qo'llab-quvvatlovchi rag'batlarning birgalikdagi natijasi sifatida qaralishi mumkin:

$$U_i = R_i - C_i - L_i - TC_i + S_i \quad (2)$$

U_i – i-ishtirokchining iqtisodiy foydaliligi;

R_i – bitim va zanjirdagi ishtirokdan olinadigan daromad;

C_i – operatsion va resurs xarajatlari;

L_i – risk ro'y bergandagi kutilayotgan yo'qotish;

TC_i – muzokara, nazorat va shartnomani bajarish tranzaksiya xarajatlari;

S_i – bonus, subsidiya, chegirma yoki hamkorlikdan olingan qo'shimcha samara.

Ishirokchi zanjirdagi hamkorlikni U_i mustaqil faoliyat yoki muqobil kontragent bilan ishlashdan olinadigan rezerv foydadan yuqori bo'lgandagina davom ettiradi.

Ta'minot zanjiridagi o'zaro munosabatlarni faqat 'yetkazib beruvchi–xaridor' vertikal aloqasi bilan cheklash

tarmoqning haqiqiy murakkabligini aks ettirmaydi. Amaliyotda vertikal, gorizontal, diagonal va platformaviy munosabatlar bir vaqtning o'zida mavjud bo'ladi.

2-jadval

Ta'minot zanjiridagi o'zaro munosabatlarning asosiy shakllari

Munosa bat turi	Ishtirokchilar	Asosiy obyekt	Muvofiqlashtirish vositasi	Kutiladigan natija
Vertikal	Ketma-ket bo'g'inlar	Buyurtma, narx, sifat, muddat, zaxira	Yetkazib berish shartnomasi, VMI, CPFR, SLA	Oqimning uzluksizligi va umumiy xarajatning kamayishi
Gorizontal	Bir bosqichdagi korxonalar	Quvvat, marshrut, ombor, transport talabi	Konsorsium, kooperatsiya, qo'shma platforma	Miqyos iqtisodi, bo'sh yurish va ortiqcha quvvatning kamayishi
Diagonal	Moliyaviy, sug'urta, axborot va logistika subyektlari	Kapital, risk, ma'lumot, kafolat	Kredit, faktoring, sug'urta, raqamli integratsiya	Likvidlik va risklarni boshqarish
Platformaviy	Ko'p jo'natuvchi va xizmat provayderlari	Buyurtma, narx, reyting va quvvat moslashtirish	Algoritmik tanlash, elektron kontrakt, API	Qidiruv va tranzaksiya xarajatining kamayishi
Davlat-xususiy	Davlat organlari va biznes	Infratuzilma, standart, ma'lumot, nazorat	DXSh, yagona oyna, standart va litsenziya	Tizimli sharoit va koridor samaradorligi
Iste'molchi bilan teskari aloqa	Savdo, ishlab chiqaruvchi va xaridor	Talab, xizmat sifati, qaytarish	CRM, reyting, qaytarma logistika	Talabga moslashish va xizmat qiymatini oshirish

Moddiy, axborot va moliyaviy oqimlar orqali munosabatlarning shakllanishi

Ta'minot zanjiridagi munosabatlar bir vaqtning o'zida bir nechta oqimlar orqali namoyon bo'ladi. Moddiy oqim mahsulot va resurslarning jismoniy harakatini, axborot oqimi buyurtma, prognoz, zaxira, transport holati va sifat ma'lumotlarini, moliyaviy oqim esa to'lov, kredit, sug'urta, soliq va kompensatsiyani ifodalaydi.

Masalan, yuk belgilangan vaqtda yetib kelgan bo'lsa-da, elektron hisob-faktura yoki qabul hujjati tasdiqlanmasa,



tashuvchining to'lovi kechikadi va aylanma mablag'ga ehtiyoj ortadi. Buyurtma axboroti ishlab chiqaruvchiga agregatsiyalangan va kechikkan holda yetib borsa, real iste'mol talabidan katta buyurtmalar shakllanishi mumkin.

Qamchi effektini buyurtma o'zgaruvchanligining yakuniy talab o'zgaruvchanligiga nisbati orqali baholash mumkin:

$$BW_i = \frac{Var(Q_i)}{Var(D)} \quad (3)$$

BW_i – i-bo'g'indagi qamchi effekti koeffitsiyenti;

Q_i – i-bo'g'inning buyurtma miqdori;

D – yakuniy iste'mol talabi;

Var – tegishli ko'rsatkich dispersiyasi.

BW_i birga yaqin bo'lsa, buyurtma o'zgarishi real talab dinamikasini nisbatan to'g'ri aks ettiradi. Koeffitsiyentning birdan sezilarli yuqori bo'lishi prognoz, partiyalash, chegirma siyosati yoki axborot kechikishi sababli talab signali kuchayganini ko'rsatadi.

Tranzaksiya xarajatlarini quyidagi tarkibiy ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$TC = C_s + C_n + C_m + C_e + C_o \quad (4)$$

TC – bitimni tashkil etish va bajarish bilan bog'liq jami tranzaksiya xarajati;

C_s – hamkor va axborotni izlash xarajati;

C_n – muzokara va shartnoma tuzish xarajati;

C_m – bajarilishni monitoring qilish xarajati;

C_e – huquqiy ijro, da'vo va kompensatsiya xarajati;

C_o – opportunizm va ishonchsizlikdan kelib chiqadigan yo'qotish.

Tranzaksiya xarajatlari ko'pincha buxgalteriya hisobotida alohida modda sifatida ko'rinmaydi. Masalan, xarid bo'limining takroriy tekshiruvlari, haydovchining hujjat kutishi, nizoni hal qilish uchun sarflangan boshqaruv vaqti yoki kontragentning ishonchsizligi sababli o'rtiqcha zaxira saqlash xarajati turli moddalarda aks etadi. Shu bois munosabatlar tizimini tahlil qilishda faqat tarif va xarid narxini emas, bitimning yashirin xarajatlarini ham hisobga olish zarur.

3-jadval

Ta'minot zanjiri ishtirokchilari munosabatlarini baholash mexanizmlarini ishlab chiqish

Baholash bloki	Asosiy ko'rsatkichlar	Ma'lumot manbai	Iqtisodiy talqini
Iqtisodiy natija	Umumiy logistika xarajati, foyda, zaxira va aylanma mablag' tejalishi	Moliyaviy va boshqaruv hisobi	Hamkorlik yaratgan moddiy samara
Operatsion muvofiqlik	OTIF, sikl vaqti, kutish, bo'sh yurish, buyurtma xatosi	TMS, WMS, ERP, GPS	Jarayonlarning sinxronligi
Axborot sifati	Aniqlik, to'liqlik, kechikish, tizimlararo moslik	Axborot tizimi loglari va audit	Qaror noaniqligining kamayishi
Shartnoma intizomi	Majburiyat bajarilishi, nizolar, da'volar, to'lov muddati	Shartnoma reyestri, EDI,	Tranzaksiya xarajati va

		bank ma'lumoti	ishonchlilik
Manfaatlar ni moslashtirish	Umumiy KPI ulushi, bonus-jarima balans, samara taqsimoti	SLA va boshqaruv bayonnomalari	Lokal optimal lashtirishning cheklanishi
Ishonch va hamkorlik	Qo'shma reja, ma'lumot ochiqdigi, takroriy shartnoma, qoniqlilik	So'rovnomalar va intervyu	Norasiy boshqaruv kapitali
Risk va barqarorlik	Muqobil manba, javob va tiklanish vaqti, risk axboroti	Risk reyestri, ssenariy sinovi	Uzilish oqibatini kamaytirish
Innovatsiya va rivojlanish	Qo'shma loyiha, raqamli integratsiya, xodimlar tayyorlash	Loyiha portfeli va investitsiya rejalari	Uzoq muddatli raqobat qobiliyati

Baholash jarayoni to'rt bosqichda amalga oshirilishi mumkin. Birinchi bosqichda zanjir xaritasi va kritik ishtirokchilar aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda ikki tomon uchun umumiy maqsad va o'lanadigan ko'rsatkichlar belgilanadi. Uchinchi bosqichda ma'lumotlar yig'ilib, iqtisodiy natija hamda munosabat sifati baholanadi. To'rtinchi bosqichda tafovutlar bo'yicha qo'shma takomillashtirish rejasini tuziladi. Baholash faqat kontragentni jazolash vositasiga aylansa, u ma'lumotni yashirishga rag'bat beradi; shu bois natija rivojlantirish muloqoti bilan bog'lanishi kerak.

O'zbekiston sharoitida ta'minot zanjiri ishtirokchilari munosabatlarini takomillashtirishda birinchi vazifa zanjirning to'liq iqtisodiy xaritasini shakllantirishdir. Korxonalar ko'pincha bevosita yetkazib beruvchi va xaridorni biladi, biroq ikkinchi darajadagi ta'minotchi, subpudratchi tashuvchi, oraliq ombor, moliyalashtiruvchi va kritik axborot provayderining zanjirdagi rolini to'liq baholamaydi. Natijada yashirin bog'liqliklar va uzilish nuqtalari aniqlanmaydi. Kritik mahsulotlar uchun ishtirokchi, oqim, shartnoma, quvvat va risk xaritasi tuzilishi lozim.

4-jadval

Ta'minot zanjirini muvofiqlashtiruvchi shartnoma mexanizmlari

Shartnoma turi	Iqtisodiy mazmuni	Kimning rag'batini o'zgartiradi	Afzalligi	Cheklov
Ulgurji narx	Birlik uchun qat'iy narx	Xaridning buyurtma qarori	Sodda va arzon boshqariladi	Ikki karra ustama va risk nomuvofiqiqligi



Daromadi bo'lishi	Sotuv daromadi ulushlari taqsimlanadi	Ishlab chiqaruvchi va savdo bo'g'in	Buyurtma va sotuv manfaati yaqinlashtiradi	Sotuv ma'lumoti va audit talab qiladi
Qaytari b sotib olish	Sotilmagan mahsulot qisman qaytariladi	Distribyutorni xaxira qarori	Talab riskini bo'lishadi	Qaytarma logistika va moral hazard
Miqdor moslashuvchanligi	Buyurtmani belgilangan diapazonda o'zgartirish	Yetkazib beruvchi va xaridor rejalari	Noaniqlikka moslashuvchanlik	Quvvat rezervi xarajati
Miqdor chegirmasi	Hajm oshganda birlik narxi pasayadi	Buyurtma partiyasi	Miqyos iqtisodini taqsimlaydi	Ortiqcha xaxira yaratishi mumkin
Ikki qismli tarif	Qat'iy to'lov va birlik narxi kombinatiyasi	Foyda taqsimoti va buyurtma	Umumiy foydani moslashuvchan taqsimlash	Muzokara va kuch nomutan osibligi
Xarajati bo'lishi	Investitsiya yoki servis xarajati ulushlanadi	Sifat, market ing, transport harakati	Zanjir uchun foydali investitsiya yoki rag'batlantiradi	Haqiqiy xarajati tekshirish qiyin
SLA va bonus-jarima	Xizmat ko'rsatgichi uchun to'lov o'zgaradi	Transport va logistika operatori	Natijani vaqt, sifat va to'liqlikka bog'laydi	Noto'g'ri KPI xatti-harakatni buzadi
Risk-sharing	Kutilmagan yo'qotish kelishilgan ulushda taqsimlanadi	Barcha kritik hamkorlar	Barqarorlik investitsiya kuchaytiradi	Risk ehtimoli baholash murakkab

Ta'minot zanjirida hamkorlik orqali yaratilgan qo'shimcha samara taqsimlanmasa, ishtirokchilar umumiy optimallashtirishga yetarli rag'bat olmaydi. Qo'shimcha samara tashish partiyasini birlashtirish, umumiy prognoz, xaxirani kamaytirish, bo'sh yurishni qisqartirish yoki sifatni oshirish natijasida yuzaga kelishi mumkin.

Riskni iqtisodiy baholash ehtimol va oqibatni birlashtirishni talab qiladi. Zanjir bo'yicha kutilayotgan risk xarajati quyidagicha ifodalanadi:

$$E(L) = \sum p_s L_s, L_s = \sum \lambda_{is} L_{is} \quad (2.9)$$

Javobgarli ulushlari yig'indisi birga teng bo'lishi lozim. Biroq ularni teng taqsimlash har doim adolatli yoki samarali emas. Riskni eng yaxshi boshqara oladigan, oldini olish choralari ko'ra oladigan yoki sug'urtalash imkoniyatiga ega tomon katta mas'uliyatni qabul qilishi mumkin.

3. Xulosa

O'tkazilgan tahlil asosida ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi ishtirokchilarining o'zaro munosabatlari tizimini '7M' konseptual modeli orqali ifodalash taklif etiladi. Model tarkibiga: ishtirokchilar majmui (Members); oqim va rollar xaritasi (Mapping); manfaatlar muvozanati (Motivation); shartnomaviy mexanizm (Mechanism); ma'lumot integratsiyasi (Mutual information); risk va javobgarlikni birgalikda boshqarish (Mutual risk); natijani o'lchash va rivojlantirish (Measurement) kiradi. Mazkur elementlardan birining yo'qligi munosabat tizimining to'liqligini buzadi.

Birinchi, ta'minot zanjiri iqtisodiy mexanizmi bozor narxlar, shartnomalar va ma'muriy topshiriqlarning oddiy yig'indisi emas; u mustaqil ishtirokchilarning qarorlarini umumiy mahsulot qiymatiga yo'naltiruvchi ko'p qatlamli boshqaruv tizimidir.

Ikkinchi, zanjir ishtirokchilari texnologik jihatdan bir-biriga bog'liq bo'lsa-da, ularning iqtisodiy maqsadlari avtomatik ravishda mos kelmaydi. Muvofiqlashtirishning ilmiy vazifasi lokal foyda va umumiy zanjir samarasi o'rtasidagi tafovutni kamaytirishdan iborat.

Uchinchi, o'zaro munosabatlarning iqtisodiy mazmuni mahsulot oqimi bilan bir qatorda axborot, moliya, xizmat va risk oqimlarida namoyon bo'ladi.

To'rtinchi, shartnoma narxni belgilash vositasi bo'lish bilan birga qaror vakolati, risk, javobgarlik va qo'shimcha samara taqsimotining iqtisodiy arxitekturasidir.

Beshinchi, ishonch va uzoq muddatli hamkorlik tranzaksiya xarajatlarini kamaytiradi, biroq ular o'lchanadigan natija, shaffof ma'lumot va adolatli nizolarni hal qilish tizimi bilan qo'llab-quvvatlanishi kerak.

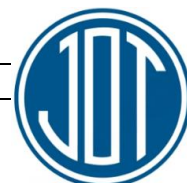
Oltinchi, raqamlashtirish munosabatlarning texnologik asosini yaxshilaydi, ammo manfaatlar va ma'lumot boshqaruvi qoidalarini o'zi hal qilmaydi.

Yettinchi, munosabat samaradorligi moliyaviy natija, xizmat darajasi, axborot sifati, shartnomaviy intizom, ishonch, risk va innovatsiya ko'rsatkichlarining birgalikdagi tahliliga asoslanishi lozim.

Shunday qilib, ta'minot zanjirining barqaror va samarali faoliyati ishtirokchilarning kuchli nazorat qilinishi bilan emas, ularning iqtisodiy manfaatlarini to'g'ri loyihalashtirilgan munosabatlar orqali uyg'unlashtirilishi bilan ta'minlanadi. O'zbekiston korxonalarida ushbu yondashuvni joriy etish umumiy logistika xarajatlarini pasaytirish, transport va ombor quvvatidan foydalanishni yaxshilash, aylanma mablag'larning aylanishini tezlashtirish, yetkazib berish ishonchligini oshirish hamda zanjir uzilishlariga moslashuvchanlikni kuchaytirishga xizmat qiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Minken H., Johansen B. G. A logistics cost function with explicit transport costs // Economics of



Transportation. 2019. Vol. 19. Article 100116. DOI: 10.1016/j.ecotra.2019.04.001.

[2] Mosca A., Vidyarthi N., Satir A. Integrated transportation-inventory models: A review // Operations Research Perspectives. 2019. Vol. 6. Article 100101. DOI: 10.1016/j.orp.2019.100101.

[3] Madadi A., Kurz M. E., Ashayeri J. Multi-level inventory management decisions with transportation cost consideration // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 719–734.

[4] Cui Z., Solak S., Johnson E. L. The inventory routing problem under uncertainty // Operations Research. 2023. DOI: 10.1287/opre.2022.2407.

[5] Coelho L. C., Cordeau J.-F., Laporte G. Thirty years of inventory routing // Transportation Science. 2014. Vol. 48. No. 1. P. 1–19.

[6] Qin H., Zhang Z., Qi Z., Lim A. The freight consolidation and containerization problem // European Journal of Operational Research. 2014. Vol. 234. No. 1. P. 37–48. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.015.

[7] Bookbinder J. H., Higginson J. K. Probabilistic modeling of freight consolidation by private carriage // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2002. Vol. 38. No. 5. P. 305–318.

[8] Hong K., Lee C. Optimal time-based consolidation policy with price-sensitive demand // International Journal of Production Economics. 2013.

[9] Moon I. K., Cha B. C., Lee C. The joint replenishment and freight consolidation of a warehouse in a supply chain // International Journal of Production Economics. 2011. Vol. 133. No. 1. P. 344–350.

[10] Popken D. A. An algorithm for the multiattribute, multicommodity flow problem with freight consolidation and inventory costs // Operations Research. 1994. Vol. 42. No. 2. P. 274–286. DOI: 10.1287/opre.42.2.274.

[11] Bertazzi L., Savelsbergh M., Speranza M. G. Inventory routing // In: The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges. Springer, 2008.

[12] Kleywegt A. J., Nori V. S., Savelsbergh M. W. P. The stochastic inventory routing problem with direct

deliveries // Transportation Science. 2002. Vol. 36. No. 1. P. 94–118.

[13] Archetti C., Bertazzi L., Laporte G., Speranza M. G. A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem // Transportation Science. 2007. Vol. 41. No. 3. P. 382–391.

[14] М.С.Буриходжаева “Методы совершенствования и улучшения качества управления в железнодорожном транспорте “Экономика и социум” №12(103) 2022

[15] Юлдашева С, БўриходжаеваМ “Повышение эффективности таможенной деятельности в развитии международного экономического сотрудничества “international scientific and practical conference” the time of scientific progress” 2022/9/10 (87-91)

[16] М.С.Бўрихаджаева«мамлакат “Иқтисодиётда автомобил транспорти коридорларини ривожлантириш истикболлари» oriental renaissance: innovative, educational, natural and social sciences 3(1/2), jan., 2023й ст 338-345

[17] М.С.Бўрихаджаева “Маркетинговый подход в деятельности предприятия “ Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences 3(4/2) апрель 2023 (653-661 бет).

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

Burihodjayeve	Toshkent davlat transport
Maloxat	universiteti “Transport
Sobitovna /	logistikasi” kafedrasi katta
Malokhat	o'qituvchisi,
Burikhodjaeva	E-mail:
	maloxatburixadjaeva@gmail.com
	https://orcid.org/0000-0002-9396-4428
	Tel.: +998 971957779



Systematic methods for assessing and managing occupational safety of train drivers

Kh. Kamilov¹^a, M. Amirov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article examines the issues of assessing and managing occupational safety at railway transport enterprises, in particular, train drivers performing shunting work. The purpose of the study is to systematically identify dangerous and harmful factors that arise during the work of train drivers, assess occupational risks and justify organizational, technical and ergonomic measures aimed at reducing them. The study analyzed the possibilities of using hazard identification, probability and consequence assessment, risk matrix, mathematical modeling, RULA, REBA and OWAS ergonomic assessment methods. It was found that the work of a train driver is complexly affected by the composition of the moving train, work between cars, boarding and disembarking from cars, switchgear, slipping, electrical hazards, adverse meteorological conditions, noise, vibration, physical and psycho-emotional loads. As a result of the study, a continuous management model was proposed, consisting of hazard identification, risk assessment, information collection, mathematical modeling, selection of protective measures, automated monitoring and reassessment. This approach can serve as a scientific and practical basis for a comprehensive assessment of the working conditions of train drivers and the reduction of occupational risks.

Keywords:

train driver, occupational safety, occupational risk, shunting operations, ergonomic loading, meteorological conditions, risk factor, automated monitoring, Safety-I, Safety-II

Poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligini baholash va boshqarishning tizimli usullari

Kamilov X.¹^a, Amirov M.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Maqolada temir yo'l transporti korxonalarida, xususan, manyovr ishlarini bajaruvchi poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligini baholash va boshqarish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotning maqsadi poyezd tuzuvchilarining mehnat faoliyati davomida yuzaga keladigan xavfli va zararli omillarni tizimli ravishda aniqlash, kasbiy risklarni baholash hamda ularni kamaytirishga qaratilgan tashkiliy, texnik va ergonomik choralarni asoslashdan iborat. Tadqiqotda xavflarni identifikatsiyalash, ehtimollik va oqibat og'irligini baholash, risk matritsasi, matematik modellash, RULA, REBA va OWAS ergonomik baholash usullaridan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilindi. Poyezd tuzuvchisining ish faoliyatiga harakatdagi tarkib, vagonlar orasida ishlash, vagonlarga chiqish-tushish, strelkali o'tkazgichlar, sirpanish, elektr xavfi, noqulay meteorologik sharoitlar, shovqin, vibratsiya, jismoniy va psixologik yuklamalar kompleks ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Tadqiqot natijasida xavflarni aniqlash, riskni baholash, axborotni yig'ish, matematik modellash, himoya choralari tanlash, avtomatlashtirilgan monitoring va qayta baholashdan iborat uzluksiz boshqaruv modeli taklif etildi. Mazkur yondashuv poyezd tuzuvchilarining mehnat sharoitlarini kompleks baholash va kasbiy risklarni kamaytirish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar:

poyezd tuzuvchisi, mehnat xavfsizligi, kasbiy risk, manyovr operatsiyalari, ergonomik yuklama, meteorologik sharoit, xavf omili, avtomatlashtirilgan monitoring, Safety-I, Safety-II.

1. Kirish

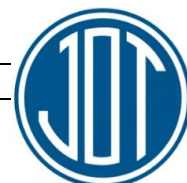
Temir yo'l transporti tizimining barqaror va xavfsiz faoliyat yuritishi ko'p jihatdan saralash stansiyalarida poyezdlarni shakllantirish va tarqatish ishlarining sifatiga bog'liq. Ushbu texnologik jarayonlarni amalga oshiruvchi

poyezd tuzuvchi (poyezd tuzuvchi yordamchisi) kasbi temir yo'l sohasi bo'yicha eng yuqori jarohatlanish xavfiga ega mutaxassisliklardan biri hisoblanadi [1].

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyati harakatlanayotgan manevr tarkiblari, og'ir texnik uskunalar, ochiq havodagi o'zgaruvchan meteorologik sharoitlar

^a <https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>

^b <https://orcid.org/0009-0002-1664-9915>



hamda sutkaning turli vaqtlaridagi (shu jumladan, tungi) yuqori ruhiy va jismoniy yuklamalar ostida kechadi. Amaldagi mehnat muhofazasi tizimlari asosan sodir bo'lgan hodisalarni qayd etish va reaktiv reagirlashga (Safety-I) asoslangan bo'lib, ular xavflarni oldindan prognoz qilish hamda proaktiv profilaktika qilish (Safety-II) imkoniyatini to'liq qamrab olmaydi [2].

Ushbu tadqiqotning maqsadi poyezd tuzuvchilarining mehnat faoliyatidagi xavf va zararli omillarni kompleks tahlil qilish, kasbiy risklarni miqdoriy va sifat jihatidan baholash usullarini takomillashtirish hamda mehnat xavfsizligini oshirish bo'yicha tizimli tavsiyalarni ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Temir yo'l transportida mehnat xavfsizligi va kasbiy risklarni boshqarish masalalari bo'yicha mahalliy va xorijiy olimlar tomonidan bir qator ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan [3-11].

Sanoat xavfsizligi va transportda risklarni boshqarish sohasidagi tadqiqotlarda kasbiy xavflarni ehtimollik va oqibatlar og'irligi ko'paytmasi sifatida baholash konsepsiyasi keng yoritilgan. Xususan, temir yo'l hodisalarini tahlil qilishda inson omili (human factor) va uning mehnat sharoitlariga bog'liqligi yetakchi sabablardan biri sifatida ko'rsatiladi [4].

Ergonomik xavflarni baholash sohasida McAtamney va Corlett (RULA) [5], Hignett va McAtamney (REBA) [6], hamda Karhu va boshqalar (OWAS) [7] tomonidan ishlab chiqilgan metodologiyalar ishchilarning statik va dinamik yuklamalarini, noqulay ish holatlarini (non-neutral postures) hamda mushak-skelet tizimi kasalliklari yuzaga kelish xavfini miqdoriy baholashda yuqori samaradorlikni ko'rsatgan.

Biroq, mavjud ilmiy manbalarda poyezd tuzuvchilarining faoliyatiga ta'sir etuvchi texnik, meteorologik, ergonomik va psixofiziologik omillarni yagona integral ko'rsatkich orqali kompleks baholash hamda ularni avtomatlashtirilgan monitoring tizimlariga integratsiya qilish masalalari yetarlicha yoritilmagan.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarish tizimining asosiy maqsadi manyovr ishlarini bajarish jarayonida xodim hayoti va sog'lig'iga xavf tug'diruvchi omillarni oldindan aniqlash, ularning ta'sirini kamaytirish va xavfsiz mehnat sharoitlarini yaratishdan iborat.

ISO 45001 xalqaro standarti mehnatni muhofaza qilish va xavfsizlikni boshqarishda xavflarni aniqlash, risklarni baholash, boshqaruv choralarini amalga oshirish va tizimni doimiy takomillashtirish tamoyillariga asoslanadi [4].

Xalqaro mehnat tashkilotining ILO-OSH 2001 yo'riqnomasida ham mehnat xavfsizligini boshqarish tizimini korxonaning umumiy boshqaruv tizimi bilan integratsiyalash zarurligi ko'rsatilgan [8].

Boshqaruv tizimining maqsadini asoslash uchun poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyatini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlar aniqlanishi lozim. Bu ko'rsatkichlarga quyidagilar kiradi:

- xavfli operatsiyalar soni;
- harakatdagi tarkibga yaqinlashish chastotasi;
- vagonlarga chiqish-tushish soni;
- ish davomiyligi;
- yurish masofasi;

- jismoniy yuklama;
- ergonomik yuklama;
- meteorologik sharoit;
- yoritish darajasi;
- xodimning psixofiziologik holati;
- xavfsizlik qoidalariga rioya qilish darajasi.

Ushbu ko'rsatkichlarni yagona tizimga birlashtirish orqali poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligi holatini kompleks baholash mumkin.

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini matematik modellashtrish. Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishda tizimlar nazariyasi matematik modellashtrish usullaridan foydalanish xavfsizlik holatini miqdoriy baholash imkonini beradi.

Mehnat xavfsizligining integral ko'rsatkichini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$K_{mx} = \Sigma \cdot W_i \cdot X_i$$

bunda:

K_{mx} – poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligi integral ko'rsatkichi;

W_i – xavf omilining vazn koeffitsiyenti;

X_i – tegishli xavf omilining baholangan qiymati.

Tizimli yondashuv xavfsizlikni bir-biridan ajralgan hodisalar yig'indisi sifatida emas, balki o'zaro bog'liq elementlardan tashkil topgan tizim sifatida baholash imkonini beradi [3, 4].

Masalan, poyezd tuzuvchisi uchun harakatdagi tarkib bilan bog'liq xavf eng yuqori ustuvorlikka ega bo'lishi mumkin. Keyingi o'rinlarda vagonlarga chiqish-tushish, meteorologik sharoit, ergonomik yuklama, elektr xavfi va psixofiziologik omillar baholanadi.

Mazkur matematik model yordamida xavfsizlik darajasini vaqt bo'yicha kuzatish va xavfsizlik holatining o'zgarishini prognozlash imkoniyati yaratiladi.

Poyezd tuzuvchisining kasbiy riskini baholash

Kasbiy riskni baholash poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishning asosiy elementlaridan biridir. Xalqaro xavfsizlik boshqaruvi amaliyotida xavfni aniqlash va uning ehtimoliy oqibatlarini baholash xavfsizlikni boshqarishning muhim bosqichi sifatida qaraladi [8, 9]. Kasbiy riskni baholash poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishning asosiy elementlaridan biridir.

Riskni soddalashtirilgan holda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R = P * S$$

bunda:

R – kasbiy risk;

P – xavf yuzaga kelish ehtimoli;

S – xavf oqibatining og'irligi.

Poyezd tuzuvchisining ish joyida risklarni baholash quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirilishi mumkin 1-rasm.

Risk darajasiga qarab xavflarni past, o'rta, yuqori va juda yuqori guruhlariga ajratish mumkin.

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini axborot bilan ta'minlash

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishda axborotning o'z vaqtida va to'liq shakllantirilishi muhim ahamiyatga ega.

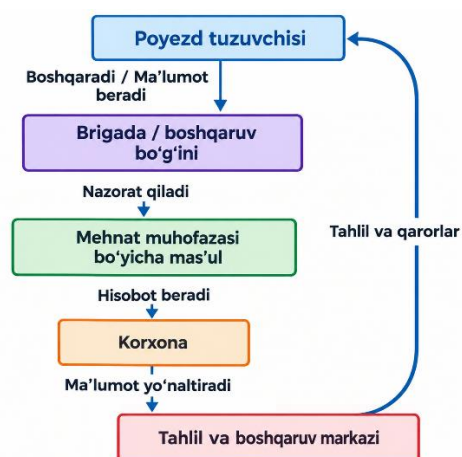




1-rasm. Poyezd tuzuvchisining ish joyida risklarni baholash ketma-ketligi

“O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ tizimida poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligi holatini baholash uchun zarur axborotlarni yig‘ish, hisobga olish va tahlil qilishning yagona tuzilmasini shakllantirish maqsadga muvofiq.

Axborotlar quyidagi yo‘nalishlarda shakllantiriladi 2-rasm.



2-rasm. Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini oshirishda axborot bilan ta'minlash ketma-ketligi

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligiga ob-havo sharoitlarining ta'siri:

Poyezd tuzuvchisi o‘z mehnat faoliyatini asosan ochiq havoda amalga oshirgani sababli meteorologik sharoitlar uning xavfsizligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ularga quyidagilar kiradi: kuchli sovuq, yuqori harorat, yomg'ir, qor, tuman, kuchli shamol, muzlama va yuqori namlik darajasi. Yuqorida sanab o'tilgan poyezd tuzuvchilarning mehnat faoliyatini olib borishda, ayniqsa manyovr ishlarini bajarish jarayonlarini murakkablashtiradi.

Masalan, yomg'ir yoki qor yog'ishi natijasida vagon pog'onalari va ballast yuzasi sirpanchiq bo'lib qolishi mumkin. Bu esa poyezd tuzuvchisining vagonlarga chiqish-tushish jarayonida yiqilish xavfini oshiradi. Tuman yoki kuchli qor paytida ko'rish masofasining kamayishi esa poyezd tuzuvchisi va harakatdagi tarkib o'rtasidagi xavfsiz masofani nazorat qilishni qiyinlashtiradi.

Shu sababli ob-havo sharoitlarini poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini baholash modeliga mustaqil parametr sifatida kiritish maqsadga muvofiq.

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyatini ergonomik baholash

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyatida ergonomik omillar ham muhim ahamiyatga ega. Xodimning ish jarayonida doimiy yurishi, egilishi, burilishi, vagonlarga chiqishi va tushishi hamda qo'l bilan turli harakatlarni bajarishi jismoniy yuklamani oshiradi.

Ergonomik baholashda quyidagi ko'rsatkichlarni aniqlash mumkin:

- tana egilish burchagi;
- bo'yin holati;
- yelka va tirsak burchaklari;
- bilak holati;
- oyoq va tizza holati;
- statik yuklama davomiyligi;
- takroriy harakatlar soni;
- yurish masofasi;
- vagonlarga chiqish-tushish chastotasi.

Poyezd tuzuvchisining ish holatini baholashda RULA, REBA va OWAS usullaridan foydalanish mumkin. Ushbu metodlar yordamida poyezd tuzuvchisining qaysi ish operatsiyalarida ergonomik xavf yuqori ekanligini aniqlash va ularni kamaytirish bo'yicha texnik hamda tashkiliy choralarni ishlab chiqish mumkin.

RULA metodi ishchining yuqori qo'l qismlari, bo'yin va tana holatini baholash uchun ishlab chiqilgan [8]. REBA esa butun tana holatini baholashga mo'ljallangan bo'lib, turli ish operatsiyalaridagi ergonomik xavfni aniqlash imkonini beradi [5]. OWAS metodi esa ishlab chiqarishdagi ish holatlarini tizimli ravishda baholash uchun qo'llaniladi [6].

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyatini ergonomik baholashda quyidagi ko'rsatkichlarni aniqlash maqsadga muvofiq:

- tana egilish burchagi;
- bo'yin holati;
- yelka va tirsak burchaklari;
- bilak holati;
- oyoq va tizza holati;
- statik yuklama davomiyligi;
- takroriy harakatlar soni;
- yurish masofasi;
- vagonlarga chiqish-tushish chastotasi.

Ergonomik baholash natijasida poyezd tuzuvchisi uchun eng xavfli ish operatsiyalari aniqlanib, ularni kamaytirish bo'yicha texnik va tashkiliy choralar ishlab chiqilishi mumkin.

3. Natija va muhokamalar

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini ta'minlash usullari

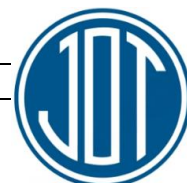
Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini ta'minlash usullarini beshta asosiy guruhga ajratish mumkin.

1. Tashkiliy usullar:

— ish boshlashdan oldin xavfsizlik yo'riqnomasini o'tkazish;

- xodimlarning bilimini muntazam tekshirish;
- manyovr ishlarini xavfsiz tashkil etish;
- ish va dam olish vaqtlarini to'g'ri belgilash;
- xavfli vaziyatlarni qayd etish va tahlil qilish.

2. Texnik usullar:



- signalizatsiya tizimlarini takomillashtirish;
- aloqa vositalaridan foydalanish;
- vagon pog'onalari va tutqichlarini ergonomiklashtirish;

- sirpanishga qarshi yuzalarni qo'llash;
- ish joylarini yetarli yoritish;
- xavfsizlik belgilarini o'rnatish.

3. Ergonomik usullar:

- ish holatini optimallashtirish;
- ortiqcha egilish va burilishlarni kamaytirish;
- vagonlarga chiqish-tushishni xavfsizlashtirish;
- jismoniy yuklamani me'yorlashtirish;
- ish joyini poyezd tuzuvchisining antropometrik xususiyatlariga moslashtirish.

4. Shaxsiy himoya vositalari:

Poyezd tuzuvchisini:

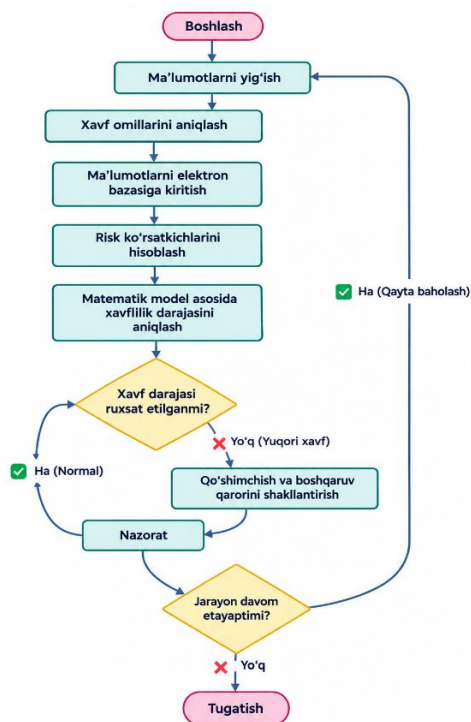
- himoya kaskasi;
- signal beruvchi maxsus kiyim;
- sirpanishga qarshi maxsus poyabzal;
- himoya qo'lqoplari;
- mavsumiy maxsus kiyim bilan ta'minlash zarur.

5. Axborot-tahliliy usullar:

- xavfsizlik ko'rsatkichlarini elektron qayd etish;
- xavfli vaziyatlarni ma'lumotlar bazasida saqlash;
- risklarni avtomatik hisoblash;
- xavfsizlik darajasini monitoring qilish;
- xavf oshgan holatlarda ogohlantirish tizimini joriy etish.

Mehnat xavfsizligini baholashni avtomatlashtirish

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishda axborot texnologiyalaridan foydalanish xavflarni tezkor aniqlash imkonini beradi 3-rasm.



3-rasm. Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarish algoritmi

Bunday tizim poyezd tuzuvchisining mehnat sharoitidagi o'zgarishlarni muntazam kuzatish va xavf darajasi oshgan hollarda profilaktik choralarni o'z vaqtida belgilash imkonini beradi. Bu yondashuv Safety-I va Safety-II konsepsiyalarida ko'rsatilgan xavfsizlikni tizimli va proaktiv boshqarish tamoyillariga mos keladi [3].

Poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligini oshirish bo'yicha tavsiyalar

Poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligini oshirish uchun quyidagi tavsiyalarni amalga oshirish maqsadga muvofiq:

1. Poyezd tuzuvchisining ish jarayonidagi xavf omillarining yagona tasnifini ishlab chiqish.

2. Kasbiy risklarni miqdoriy baholash metodikasini takomillashtirish.

3. Ergonomik xavflarni RULA, REBA va OWAS usullari asosida baholash.

4. Meteorologik sharoitlarni xavfsizlik darajasini baholash modeliga kiritish.

5. Mehnat xavfsizligi bo'yicha ma'lumotlarni elektron shaklda yig'ish va saqlash.

6. Xavfsizlikning integral ko'rsatkichini aniqlash uchun matematik model ishlab chiqish.

7. Xavf darajasini avtomatik aniqlash va ogohlantirish tizimini joriy etish.

8. Vagon pog'onalari va tutqichlarini ergonomik jihatdan takomillashtirish.

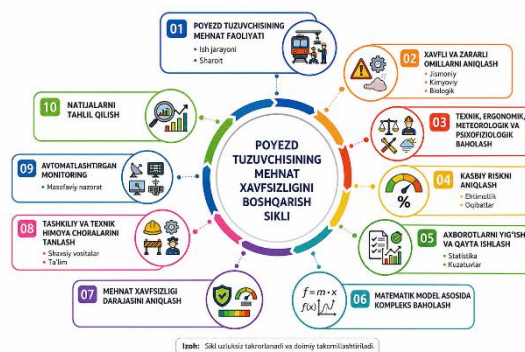
9. Poyezd tuzuvchilarining mavsumiy mehnat sharoitlariga mos maxsus kiyimlarini takomillashtirish.

10. Mehnat xavfsizligi bo'yicha davlat va tamqoq me'yoriy talablaridagi o'zgarishlarni korxona standartlariga muntazam kiritib borish.

Mazkur tavsiyalar mehnat xavfsizligini boshqarishning doimiy takomillashtirish tamoyiliga asoslanadi [8].

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishning taklif etilayotgan modeli.

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarishning quyidagi modeli taklif etiladi 4-rasm.



4-rasm. Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarish sikli

Mazkur model mehnat xavfsizligini uzluksiz boshqarish sikli sifatida qarash imkonini beradi. Ushbu yondashuv xavfsizlikni oldindan boshqarish, xavflarni nazorat qilish va tizimni doimiy takomillashtirish tamoyillariga asoslanadi [3-7].

4. Xulosa

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyati temir yo'l transportidagi yuqori xavfli mehnat jarayonlaridan biri bo'lib, uning xavfsizligi ko'plab texnik, tashkiliy, ergonomik, meteorologik va psixofiziologik omillarga bog'liq.

Tadqiqot natijasida poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini ta'minlashni beshta asosiy yo'nalish - **tashkiliy, texnik, ergonomik, individual himoya va axborot-tahliliy usullar** asosida tashkil etish maqsadga muvofiqligi aniqlandi.

Poyezd tuzuvchisining mehnat xavfsizligini boshqarish maqsadini asoslashda matematik modellashdan foydalanish xavfsizlikka ta'sir qiluvchi omillarni miqdoriy baholash va ularning ustuvorligini aniqlash imkonini beradi [3, 10]. Shu bilan birga, mehnat xavfsizligi to'g'risidagi axborotlarni yig'ish, hisobga olish va tahlil qilishni avtomatlashtirish xavfli vaziyatlarni tezkor aniqlash va boshqaruv qarorlarini o'z vaqtida qabul qilish imkonini beradi.

Poyezd tuzuvchisining mehnat faoliyati ochiq havoda amalga oshirilishi sababli meteorologik omillarni alohida baholash zarur. Havo harorati, yog'ingarchilik, tuman, shamol, muzlama va ko'rish masofasi kabi omillarni xavfsizlik modeliga kiritish real mehnat sharoitini yanada aniqroq ifodalash imkonini beradi.

Bundan tashqari, poyezd tuzuvchisining ish holatlarini RULA, REBA va OWAS metodlari yordamida ergonomik baholash orqali mushak-skelet tizimiga tushadigan yuklamani aniqlash va xavfli ish operatsiyalarini kamaytirish mumkin [4–11].

Umuman olganda, **“xavfni aniqlash – riskni baholash – axborotni yig'ish – matematik modellash – xavfsizlik darajasini aniqlash – himoya choralarini tanlash – avtomatlashtirilgan monitoring – qayta baholash”** tamoyiliga asoslangan boshqaruv tizimi poyezd tuzuvchilarining mehnat xavfsizligini oshirishning ilmiy-amaliy asosi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Ushbu yondashuv “O'zbekiston temir yo'llari” AJ tarkibidagi stansiyalarda poyezd tuzuvchilarining mehnat sharoitlarini kompleks baholash, kasbiy risklarni kamaytirish va mehnat xavfsizligini boshqarish samaradorligini oshirishga imkon beradi.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] O'zbekiston temir yo'llarida poyezdlar harakati va manevr ishlari xavfsizligi bo'yicha yo'riqnoma. Toshkent, 2022.

[2] Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate Publishing, Ltd.

[3] Leveson N. G. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. – Cambridge: MIT Press, 2011

[4] Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate Publishing, Ltd.

[5] Mc. Atamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91–99.

[6] Hignett, S., & Mc. Atamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205.

[7] Karhu, O., Kansi, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. Applied Ergonomics, 8(4), 199–201.

[8] ILO. Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems (ILO-OSH 2001). – Geneva: International Labour Office, 2001.

[9] ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

[10] Reason J. Managing the Risks of Organizational Accidents. – Aldershot: Ashgate, 1997.

[11] Аруин А. С., Зациорский В. М. Эргономическая биомеханика. – Москва: Машиностроение, 1989.

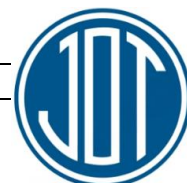
Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Kamilov Xasan /
Khasan Kamilov

Toshkent davlat transport universiteti “Texnosfera xavfsizligi” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari doktori
E-mail: xasan-kamilov@mail.ru
Tel.: +998 97 720 99 44
<https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>

Amirov Muxtor /
Mukhtar Amirov

Toshkent davlat transport universiteti “Texnosfera xavfsizligi” kafedrasida doktoranti
E-mail: muxtoramirov94@gmail.com
Tel.: +998 93 703 87 63
<https://orcid.org/0009-0002-1664-9915>



Sanitary and hygienic requirements for improving working conditions of train drivers

Kh. Kamilov¹^a, M. Amirov¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article presents a systematic analysis of the work activities of train driver workers at railway stations and the hazardous and harmful occupational factors affecting them. The activities of train shunting workers within the “Human–Production Environment” system are examined, including the effects of meteorological conditions, noise, vibration, static and dynamic physical loads, and psycho-emotional factors on the human body, as well as the risk of developing occupational diseases. In addition, the “Three-Point Support” (Three-Point Contact) safety rule, aimed at preventing falls from height and injuries during shunting operations, is considered. Comprehensive practical recommendations and solutions have also been developed to improve sanitary and hygienic working conditions.

Keywords: train driver, work environment, sanitary-hygienic requirements, three-point contact, occupational diseases, microclimate, noise, vibration, occupational safety

Poyezd tuzuvchilari mehnat sharoitini yaxshilashga oid sanitar-gigiyenik talablar

Kamilov X.¹^a, Amirov M.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Maqolada temir yo‘l stansiyalarida poyezd tuzuvchilarning mehnat faoliyati va ularga ta’sir etuvchi xavfli hamda zararli ishlab chiqarish omillari asosida tizimli tahlil qilingan. Poyezd tuzuvchilarning “Inson – ishlab chiqarish muhiti” tizimi doirasidagi faoliyati, meteorologik sharoitlar, shovqin, tebranish, statik va dinamik yuklamalar hamda psixosotsial omillarning inson organizmiga ta’siri va kasb kasalliklari rivojlanish xavfi baholangan. Shuningdek, manyovr ishlarini bajarishda balandlikdan tushib ketish va jarohatlanishlarning oldini oluvchi “Uch nuqtali tayanch” (Uch nuqtali kontakt) xavfsizlik qoidasi hamda sanitar-gigiyenik sharoitlarni yaxshilashga qaratilgan kompleks amaliy takliflar va yechimlar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: poyezd tuzuvchi, mehnat muhiti, sanitar-gigiyenik talablar, uch nuqtali tayanch, kasb kasalliklari, mikroiklim, shovqin, tebranish, mehnat xavfsizligi

1. Kirish

Temir yo‘l transportida poyezd tuzuvchilarining mehnat faoliyati ochiq havoda, stansiyalarning xavfli zonalarida va harakatlanuvchi tarkiblar bilan bevosita aloqada olib boriladi. Shuning uchun ularning mehnat sharoiti ishlab chiqarish muhitidagi fizik, kimyoviy, biologik va axborot omillarining murakkab kombinatsiyasidan iborat. Poyezd tuzuvchilar “Inson – ishlab chiqarish muhiti” tizimi doirasida mehnat qiladi. Ushbu tizim elementlari orasida modda, energiya va axborot oqimlarining uzluksiz almashinuvi yuzaga keladi [82].

Manyovr ishlarini olib borish davomida poyezd tuzuvchilarga noqulay meteorologik sharoitlar, shovqin, tebranish, yetarsiz yoritilganlik kabi omillar bilan birga katta statik va dinamik yuklamalar ta’sir ko’rsatadi. Xususan, vagon zinapoyasida harakatlanish vaqtida tutqichni ushlab

tana og’irligini ushlab hamda avtotirkamalarni ajratishda katta kuch sarflanadi [1]. Noto’g’ri tanlangan ergonomik tavsiflar va ish o’rinlaridagi xatoliklar tayanch-harakat apparatida zo’riqish hosil qilib, vaqt o’tishi bilan turli kasb kasalliklarini keltirib chiqaradi [83; 38-40-b, 84; 24-31-b.]. Ushbu tadqiqotning maqsadi poyezd tuzuvchilarining mehnat sharoitini sanitar-gigiyenik va ergonomik talablar asosida baholash hamda xavfsizlik va salomatlikni muhofaza qilish bo’yicha samarali chora-tadbirlarni ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Mehnat muhiti omillarining inson organizmiga ta’sirini gigiyenik baholash natijalariga ko’ra, mehnat sharoiti xavfli va zararli omillarning son hamda sifat ko’rsatkichlariga qarab komfort, yo‘l qo’yilgan, xavfli (zararli) va o’ta xavfli sinflarga bo’linadi. Mikroiklim ko’rsatkichlari (havo harorati, namligi, harakat tezligi) organizmning issiqlik almashinuviga va funksional holatiga bevosita ta’sir

^a <https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>

^b <https://orcid.org/0009-0002-1664-9915>



ko'rsatadi [90; 32-34-b, 91; 72-73-b.]. Havo haroratining me'yordan pasayishi qon tomirlarining torayishi, charchoq va metabolismning susayishiga olib kelsa, namlikning yuqoriligi immunitetni zaiflashtiradi [92; 611-614-b, 93; 600-601-b.].

Shovqin va tebranish omillari markaziy asab tizimi hamda eshitish analizatorlariga salbiy ta'sir ko'rsatib, qonda stress gormonlari (kortizol, adrenalini) darajasini oshiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, shovqin foni yuqori bo'lgan ish joylarida mehnat unumdorligi 10 foizga pasayadi, kasallanish ko'rsatkichi esa 37 foizga ortadi [96; 14-15-b, 97; 38-40-b, 98; 36-39-b.]. Ish vaqtida yuqori psixosotsional yuklama va vaqt tanqisligi sharoitida ishlash asab tizimi buzilishlariga va stressli holatlarga sabab bo'ladi [85; 41-43-b.].

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda poyezd tuzuvchilarning ish o'rinlaridagi ishlab chiqarish muhiti omillari kompleks sanitar-gigiyenik va ergonomik usullar yordamida o'rganildi. Metodologiya quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

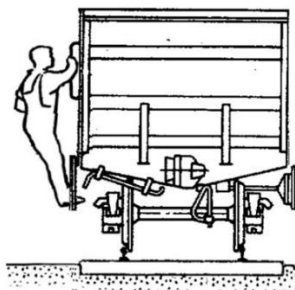
- *Ishlab chiqarish muhitini gigiyenik baholash:*

Mikroiqlim parametrlarining (harorat, namlik, havo harakati tezligi), shovqin va tebranish darajalarining hamda yoritilganlik ko'rsatkichlarining sanitariya me'yorlari va qoidalarga muvofiqchiligi tahlil qilindi.

- *Ergonomik va biomexanik baholash:* Poyezd tuzuvchisining vagon zinapoyasida joylashishi, harakat davomidagi tana holati (postura) va tayanch nuqtalari tahlil qilindi.

- *Kasbiy xavflarni tahlil qilish:* Tana mushaklarining statik zo'riqishi, umurtqa pog'onasiga tushadigan yuklamalar hamda balandlikdan qulash xavfi modellashirildi.

Umuman olganda poyezd tuzuvchisining ishi bir qator kasbiy omillarning (noqulay meteorologik sharoitlar, shovqin, tebranish, past yorug'lik, jismoniy og'irlik, ruhiy zo'riqish va boshqalar) ta'siri bilan bog'liq. Poyezd tuzuvchisining mehnat jarayoni davomida olib boradigan ish faoliyati og'ir mehnatga kiradi. Ular smena davomida tik turgan holatda poyezdlarni shakllantirishda ko'plab masofani (shu bilan birga qishda kiyim kechak va jihozlarning og'irligi bilan) bosib o'tadilar, balandligi 0,7-1,0 metrgacha bo'lgan vagon zinapoyasiga smena davomida juda ko'p marotaba chiqib tushadi. Dinamik ishdan tashqari ularning faoliyatida katta statik yuklama ham mavjud. Bunga vagon zinapoyasida manyovr ishlarini bajarayotganda tutqichni ushlab tik turgan holatdagi tana og'irligini ushlab turishi va avtotirkamalarni ajratishda kuch sarflashi kiradi [1] (1-rasm).



1-rasm. Poyezd tuzuvchisining mehnat jarayonini olib borishdagi holati

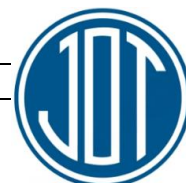
3. Natija va muhokamalar

Poyezd tuzuvchilar va ishlab chiqarish muhiti munosabati mehnat faoliyati davridagi moddalar va ularning birikmalari, turli fizik tabiatga ega energiyalar va axborotlar oqimlarini uzluksiz mavjudligiga asoslangan. Salbiy ta'sir etuvchi oqimlar (ma'lumotlar, energiyalar, axborotlar) tizimning har bir elementiga nisbatan tashqi oqimlardir. Gigiyenik baholash natijalariga ko'ra, mehnat sharoiti xavfli (shikastlovchi va zararli) omillarning son va sifat ko'rsatkichlari qiymatlari asosida komfort, yo'l qo'yilgan, xavfli (zararli) va o'ta xavfli sinflarga bo'linadi. Poyezd tuzuvchilarining mehnat faoliyati ko'p harakatlilik bilan bog'liq, shu bois ular mehnat jarayoni ish joyining xususiyati, iqlim omillari, jismoniy og'irlik va zo'riqish, zararli moddalar va chang, shovqin va tebranish, yoritishning yetarli emasligi hamda psixosotsional yuklamalar ta'sirida olib boriladi. Lekin bu holat inson tanasiga majburiy hamda yoqimsiz vaziyatni yuzaga keltiradi, ya'ni oyoq, quloq, ko'z, bosh, bo'yin, yelka va qo'l mushaklarining zo'riqishi hamda umurtqa pog'onasining yuklanishiga sababchi bo'lib, eshitish a'zolari bilan bog'liq bo'lgan kasalliklar (Masalan: tinnitus, koxlear nevit), pnevmoniya kasalligi osteoxondroz, shuningdek vagon zinapoyasi va inson tanasi o'rtasida ya'ni poyezd tuzuvchisi uchun eng muhim jihat - bu doimiy ravishda "Uch nuqtali kontakt" qoidasiga rioya qilishdir. Bu qoidaga ko'ra, xodim ko'tarilish yoki tushish paytida doimo ikki qo'l va bir oyoq yoki ikki oyoq va bir qo'l bilan zinapoya yoki tutqichga tayanishi shart. Zinapoya konstruksiyasi aynan shu qoidani bajarishga imkon berishi uchun tutqichlar bilan birgalikda loyihalashtirilishi kerak. Aks holda "Uch nuqtali kontakt" qoidasiga rioya qilmasdan harakat qilish balandlikdan qulashi, shamol bo'lganda yoki harakat tarkibi qo'zg'alga vagondan tushib ketishi muvozanatni yo'qotishi natijasida, uning natijasida bosh miya jarohati yoki umurtqa pog'onasi sinishi (2-rasm).



A) To'g'ri usul - 3 nuqtali tayanch:

- ✓ 2 qo'l - zinapoya tutqichlarini mustahkam ushlab turibdi
- ✓ 1 oyoq - zinapoya pog'onasida
- ✓ 1 oyoq - keyingi pog'onaga ko'tarilmoqda



= Jami: 3 nuqta (xavfsiz!)



2-rasm. “Uch nuqtali kontakt” qoidasi

B) Noto’g’ri usul -faqat 2 ta tayanch nuqtasi:

- ✗ 1 qo’l - zinapoyani ushlab turibdi
- ✗ 1 oyoq - zinapoya pog’onasida
- ✗ 1 qo’l – bo’sh (lekin zinapoyada emas)
- ✗ 1 oyoq - pastda
- ✗ = Jami: 2 nuqta (xavfli!)

Noto’g’ri tanlangan ish joyida tik holatda uzoq muddatli mehnat jarayonini olib borish, umurtqa pog’onasining egriligini yuzaga keltirishi mumkin. Ushbu kasallik (patologiya) umurtqa pog’onasi orasidagi disk churrasini yuzaga keltirishi mumkin, bu o’z navbatida, asab tolalarining siqilishiga va radikulitning paydo bo’lishiga olib keladi. Umurtqa pog’onasi kasalligi rivojlanishining asosiy sababi ish joyidagi noto’g’ri ishlash holatidir.

Yuqoridagi asosiy kasb kasalliklaridan tashqari, poyezd tuzuvchilarda yuqori psixoemotsional yuklama, tungi smenalar va noto’g’ri ovqatlanish oqibatida yurak-qon tomir tizimi xastaliklari (masalan, gipertoniya), shuningdek, oshqozon-ichak tizimi kasalliklari rivojlanish xavfi ham mavjud.

Aytish joizki, ushbu kasalliklarning aksariyatini muntazam tibbiy ko’riklar, sifatli shaxsiy himoya vositalaridan foydalanish va mehnat hamda dam olish tartibiga qat’iy rioya qilish orqali oldini olish yoki jiddiy asoratlarni kamaytirish mumkin.

Poyezd tuzuvchilar faoliyatida uchraydigan asosiy salbiy omillar va ularning inson organizmiga ta’siri hamda ularni kamaytirish bo’yicha profilaktik chora-tadbirlar tizimlashtirildi (2-jadval).

1-jadval

Ishlab chiqarish muhiti omillari va uning oldini olish chora-tadbirlari

Poyezd tuzuvchisiga ta’sir qiluvchi omillar turi	Salbiy ta’siri va oqibatlari	Tavsiya etiladigan kompleks yechimlar
Noqulay mikroiklim (Yuqori/past harorat, namlik, havo harakati)	Suvsizlanish, gipertermiya, qon tomirlar torayishi, immunitet susayishi, pnevmoniya.	Mavsumga mos, issiq va suv o’tkazmaydigan shaxsiy himoya vositalari (SHHV) bilan ta’minlash, isitish/salqinlatish xonalarini tashkil etish.
Shovqin va tebranish	Eshitish qobiliyati pasayishi (tinnitus, koxlear nevrin), stress gormonlari ortishi, unumdorlik 10% ga pasayishi.	Sifatli quloqchin vositalaridan foydalanish, shovqin darajasini doimiy nazorat qilish.
Statik va dinamik yuklama (Jismoniy og’irlik)	Mushak zo’riqishi, umurtqa pog’onasi egriligi, disk churrasi, radikulit.	Ergonomik tutqich va zinapoyalarni loyihalash, “Uch nuqtali tayanch” qoidasiga qat’iy rioya qilish, mehnat va dam olish rejimini me’yorlashtirish.
Psixoemotsional va yoritilganlik omillari	Ko’z zo’riqishi, bosh og’rig’i, diqqat bo’linishi, gipertoniya, asab tizimi buzilishi.	Stansiya hududini me’yoriy yoritish, tungi smenalarni to’g’ri taqsimlash, muntazam tibbiy ko’rikni o’tkazish.

4. Xulosa

Poyezd tuzuvchilarning mehnat faoliyatida uchraydigan xavfli va zararli omillar ularning salomatligi hamda ish qobiliyatiga bevosita salbiy ta’sir ko’rsatadi. Tadqiqot natijalariga ko’ra quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Poyezd tuzuvchilarining mehnat sharoitlari sanitariya me’yorlari va qoidalari asosida doimiy nazorat qilinishi hamda belgilangan ko’rsatkichlar bo’yicha mehnat sharoiti sinflari aniqlanishi shart.

2. Manyovr ishlarini olib borishda jarohatlanishlarning oldini olish uchun poyezd tuzuvchilar doimiy ravishda “Uch nuqtali tayanch” qoidasiga (ikki qo'l va bir oyoq yoki ikki oyoq va bir qo'l) rioya qilishlari shart. Vagon va lokomotiv zinapoyalari ushbu qoidani bajarishga imkon beradigan ergonomik tutqichlar bilan jihozlanishi lozim.

3. Kasb kasalliklari (osteoxondroz, radikulit, koxlear nevrit, gipertoniya) xavfini kamaytirish uchun muntazam tibbiy ko'rik larni tashkil etish, zamonaviy shaxsiy himoya vositalaridan foydalanish hamda smena davomida mehnat va dam olish tartibiga qat'iy rioya qilish talab etiladi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasining Mehnat kodeksi. – Toshkent, 2022.
- [2] O'zbekiston Respublikasining “Mehnatni muhofaza qilish to'g'risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2016.
- [3] GOST 12.0.230-2007. SSBT. Sistema upravleniya okhranoy truda. Obshchie trebovaniya. – Moskva: Standartinform, 2007.
- [4] ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
- [5] ILO. Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems (ILO-OSH 2001). – Geneva: International Labour Office, 2001.
- [6] Reason J. Managing the Risks of Organizational Accidents. – Aldershot: Ashgate, 1997.
- [7] Leveson N. G. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. – Cambridge: MIT Press, 2011.
- [8] Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. – Farnham: Ashgate, 2014.

[9] L., Corlett E. N. RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders // Applied Ergonomics. – 1993. – Vol. 24, No. 2. – P. 91–99.

[10] Hignett S., McAtamney L. Rapid Entire Body Assessment (REBA) // Applied Ergonomics. – 2000. – Vol. 31, No. 2. – P. 201–205.

[11] Karhu O., Kansi P., Kuorinka I. Correcting Working Postures in Industry: A Practical Method for Analysis // Applied Ergonomics. – 1977. – Vol. 8, No. 4. – P. 199–201.

[12] Аруин А. С., Зациорский В. М. Эргономическая биомеханика. – Москва: Машиностроение, 1989.

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

Kamilov Xasan / Toshkent davlat transport universiteti “Texnosfera xavfsizligi” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari doktori
E-mail: xasan-kamilov@mail.ru
Tel.: +998 97 720 99 44
<https://orcid.org/0009-0009-2998-3964>

Amirov Muxtor / Toshkent davlat transport universiteti “Texnosfera xavfsizligi” kafedrasida doktoranti
E-mail: muxtoramirov94@gmail.com
Tel.: +998 93 703 87 63
<https://orcid.org/0009-0002-1664-9915>



The “Maktabga xavfsiz qadam” web platform: preventing road traffic accidents involving children

D.M. Imamaliyev¹, D.U. Sayfiyeva¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article highlights the critical issue of preventing road traffic accidents (RTAs) involving children by evaluating the state of road infrastructure around general education schools in Uzbekistan. It analyzes the main goals, tasks, and practical significance of the "Maktabga xavfsiz qadam" web platform. Through the platform, school principals utilize their personal login credentials to assess the surrounding road infrastructure, uploading relevant data and photographs into the system. Artificial Intelligence (AI)-based image analysis serves as an additional verification mechanism to cross-check evaluations made by school administrators, enhancing data reliability and identifying high-risk zones. Furthermore, the article describes the system's capabilities for regional, district, and school-level monitoring, prompt intervention for schools categorized with "low" or "very poor" safety ratings, and elevating students' knowledge of traffic rules through interactive testing modules.

Keywords: road traffic accidents, child safety, school infrastructure, traffic rules, artificial intelligence, digital platform, monitoring, pedestrian safety, "Maktabga xavfsiz qadam".

“Maktabga xavfsiz qadam” veb-platformasi: maktab hududlari atrofidagi yo‘l infrastrukturasini baholash va bolalar ishtirokidagi yo‘l-transport hodisalarining oldini olish

Imamaliyev D.M.¹, Sayfiyeva D.O.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Mazkur ilmiy maqolada O‘zbekistondagi umumta‘lim maktablari atrofidagi yo‘l infratuzilmasi holatini baholash orqali bolalar ishtirokidagi yo‘l-transport hodisalarining oldini olish masalasi yoritilgan. Unda “Maktabga xavfsiz qadam” veb-platformasining maqsadi, vazifalari va amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Platforma orqali maktab direktorlari o‘zlarining shaxsiy login va parollari yordamida maktab atrofi yo‘l infratuzilmasini baholaydi, mavjud muammolar yuzasidan ma‘lumot hamda fotosuratlarini tizimga yuklaydi. Sun‘iy intellekt asosidagi tasvir tahlili direktor tomonidan berilgan bahoni qo‘shimcha tekshirish, ma‘lumotlar ishonchligini oshirish va xavfli hududlarni aniqlashga yordam beradi. Shuningdek, maqolada viloyat, tuman va maktablar kesimida monitoring olib borish, “past” va “juda yomon” holatdagi maktablarga tezkor yordam ko‘rsatish hamda o‘quvchilarning yo‘l harakati qoidalari bo‘yicha bilimini testlar orqali oshirish imkoniyatlari bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: yo‘l-transport hodisasi, bolalar xavfsizligi, maktab infratuzilmasi, yo‘l harakati qoidalari, sun‘iy intellekt, raqamli platforma, monitoring, piyodalar xavfsizligi, “Maktabga xavfsiz qadam”

1. Kirish

Bugungi kunda bolalarning hayoti, salomatligi va xavfsizligini ta‘minlash jamiyat oldidagi eng muhim ijtimoiy va davlat ahamiyatiga molik vazifalardan biridir. Bolalar har kuni maktabga borish va qaytish vaqtida avtomobil yo‘llari, piyodalar o‘tish joylari, chorrahalar hamda jamoat transporti bekatlaridan unumli foydalanadilar. Shu sababli maktab atrofidagi yo‘l infratuzilmasining holati o‘quvchilarning xavfsiz

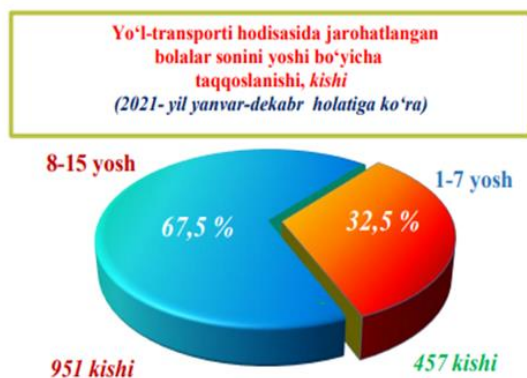
harakatlanishiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Yo‘l belgilari yo‘qligi, piyodalar yo‘laklarining nosozligi, svetoforlarning ishlamasligi, yoritish tizimining yetarli emasligi va transport vositalari tezligining yuqoriligi bolalar uchun jiddiy xavf tug‘diradi. Ayniqsa, boshlang‘ich va o‘rta sinf o‘quvchilari

yo‘l holatini to‘g‘ri baholash hamda tezkor qaror qabul qilishda kattalarga nisbatan ko‘proq qiyinchilikka duch kelishadi. O‘zbekistonda ham bolalar ishtirokidagi yo‘l-transport hodisalari dolzarb muammolardan biridir. IIV ma‘lumotlariga ko‘ra, 2023-yilda respublikada bolalar ishtirokida 1 794 ta YTH sodir bo‘lib, ularda 1 568 nafar bola jarohatlangan va 263 nafar bola halok bo‘lgan. Mazkur raqamlar bolalar xavfsizligini ta‘minlashda an‘anaviy targ‘ibot bilan birga zamonaviy, tezkor va raqamlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish zarurligini ko‘rsatadi. Ushbu muammoning innovatsion yechimi sifatida “Maktabga xavfsiz qadam” veb-platformasi ishlab chiqildi.



2. Tadqiqot metodologiyasi

Yo'l-transport hodisalari natijasida bola nafaqat jismoniy jarohat olishi, balki ruhiy bosim, qo'rquv va uzoq muddatli salbiy oqibatlarni ham boshdan kechirishi mumkin. Bunday holat bolaning o'qishiga, ijtimoiy faolligiga hamda oilasining turmush tarziga ta'sir qiladi. Shuning uchun bolalar ishtirokidagi YTHlarning oldini olish faqat yo'l harakati xavfsizligi tizimining emas, balki ta'lim, sog'liqni saqlash, mahalliy boshqaruv organlari va ota-onalarning ham umumiy vazifasidir. 2021-yilning yanvar-dekabr oylarida bolalar ishtirokida sodir bo'lgan yo'l-transporti hodisalari 1 621 birlikni tashkil etib, 2020- yilning mos davriga nisbatan 479 birlikka (41,9 %) oshgan. Yo'l-transporti hodisalarida jarohat olgan bolalarning umumiy soni 1 408 kishini tashkil etdi. 2020- yilning mos davriga nisbatan ushbu ko'rsatkich 467 kishiga (49,6 %) ko'paygan. Sodir bo'lgan yo'l-transporti hodisasida jarohat olgan bolalarning umumiy sonidan 1-7 yoshgacha bo'lgan bolalarning ulushi 32,5 % ni, 8-15 yoshgacha bo'lgan bolalarning ulushi 67,5 % ni tashkil etdi. 2020-yilning yanvar-dekabr oylari bilan taqqoslaganda, yo'l-transporti hodisalarida 1-7 yoshgacha bo'lgan jarohatlangan bolalar soni 92 nafarga ko'payib, va 457 kishini tashkil etdi. 2021- yilning yanvar-dekabr oylarida 8-15 yoshgacha bo'lgan jarohatlangan bolalar sonining 375 nafarga ko'payganligi qayd etildi. Ushbu yoshdagi jabr ko'rgan bolalarning umumiy soni 951 nafarni tashkil etdi.



1-rasm. Manba: O'zbekiston Respublikasi IIV tomonidan taqdim etilgan ma'lumotlar asosida hisoblangan, 2021 yil

“Maktabga xavfsiz qadam” veb-platformasining maqsadi

“Maktabga xavfsiz qadam” — O'zbekistondagi umumta'lim maktablari atrofidagi yo'l infratuzilmasi holatini baholash va bolalar xavfsizligini oshirish uchun ishlab chiqilgan raqamli platformadir. Platformaning asosiy maqsadi — maktabga borib-kelayotgan bolalar uchun xavf tug'diruvchi yo'l omillarini o'z vaqtida aniqlash, ularni hududlar kesimida umumlashtirish va mas'ul tashkilotlarga tezkor choralar ko'rish uchun ishonchli ma'lumot taqdim etishdir. Loyiha doirasida har bir maktab direktori yoki belgilangan mas'ul xodim o'zining shaxsiy login va paroli orqali platformaga kiradi. U maktab atrofi yo'l infratuzilmasi bo'yicha baholash shaklini to'ldiradi. Tizimga kiritilgan ma'lumotlar markazlashgan bazada saqlanadi va ularni viloyat, tuman, shahar hamda alohida maktab kesimida ko'rish mumkin bo'ladi. Bu tizim maktab atrofidagi xavfsizlik holatini muntazam o'rganish va kuzatib

borishga imkon beradi. Masalan, bir tumandagi maktablarning aksariyati “yaxshi” holatda bo'lsa, ayrim tuman maktablari “past” yoki “juda yomon” toifasida qayd etilishi mumkin. Shu orqali qaysi hududga birinchi navbatda e'tibor qaratish lozimligi aniq bo'ladi.

Yo'l infratuzilmasini baholash mezonlari

Platforma orqali maktablari atrofidagi yo'l infratuzilmasi bir nechta muhim mezonlar asosida baholanadi. Ushbu mezonlar bolalarning maktabga xavfsiz qatnoviga bevosita bog'liq bo'lgan omillarni qamrab oladi.

Baholash jarayonida quyidagi holatlar ko'rib chiqiladi:

- maktab oldida yoki unga yaqin hududda piyodalar o'tish joyi mavjudligi;
- piyodalar o'tish joyining yo'l chiziqlari aniq chizilgan;
- maktab va bolalar belgilarining mavjudligi;
- svetofor yoki tugmali svetoforning o'rnatilgan;
- yo'l belgilarining ko'rinariligi va yaroqlilik holati;
- tezlikni cheklovchi vositalar, jumladan sun'iy notekisliklarning mavjudligi;
- piyodalar yo'lagining mavjudligi va holati;
- tungi paytda yo'lining yoritilganligi;
- avtomobillar to'xtash joyining bolalar harakatiga xalaqit bermasligi;
- maktab oldidagi transport oqimi va yo'lining xavflilik darajasi.

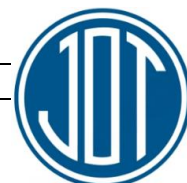
Ushbu ko'rsatkichlar asosida maktab atrofi yo'l holati “yaxshi”, “o'rta”, “past” va “juda yomon” toifalaridan biriga kiritiladi.

Baholash darajasi	Tavsifi
Yaxshi	Yo'l belgilari, piyodalar o'tish joyi, yoritish va boshqa asosiy xavfsizlik vositalari mavjud hamda yaroqli holatda
O'rta	Xavfsizlik vositalarining asosiy qismi mavjud, biroq ayrim kamchiliklarni bartaraf etish talab etiladi
Past	Bir yoki bir nechta muhim xavfsizlik vositasi mavjud emas yoki ishlamaydi
Juda yomon	Yo'l infratuzilmasida bolalar hayoti uchun yuqori xavf tug'diruvchi jiddiy kamchiliklar mavjud

Bu baholash tizimi ma'lumotlarni tushunarli va solishtirishga qulay shaklda taqdim etadi. Natijada mas'ul tashkilotlar qaysi maktablarda piyodalar yo'lagi, svetofor, yo'l belgisi yoki yoritish tizimiga ehtiyoj borligini aniqlay oladilar.

Nima uchun baholash maktab direktorlari orqali amalga oshiriladi?

Maktab hududlari atrofidagi yo'l infratuzilmasini baholashni faqat alohida nazorat xodimlari orqali amalga oshirish ko'p vaqt va mablag' talab qiladi. Har bir tuman uchun maxsus xodimlar ajratilgan taqdirda ham, ular hududdagi barcha maktablarga borib chiqishi, joylashuvini topishi, yo'l holatini o'rganishi va xulosalarni shakllantirishi



kerak bo'ladi. Ayniqsa, maktablar shahar, tuman markazi, qishloq, mahalla va chekka hududlarda joylashgani hisobga olinsa, bunday an'anaviy baholash jarayoni ancha murakkab bo'lishi mumkin. U transport xarajatlari, inson resurslari va qo'shimcha vaqt talab qiladi. Shuningdek, bitta xodimning barcha maktablarga bir xil tezkorlikda yetib borishi ham qiyin. Maktab direktori esa o'z ta'lim muassasasi atrofidagi holatni yaxshi biladi. U maktabga qaysi tomondan bolalar ko'proq kelishini, qaysi yo'l yoki chorraha xavfli ekanini, ota-onalar tomonidan qanday muammolar ko'tarilayotganini hamda mavjud yo'l infratuzilmasining kundalik holatini kuzatib boradi. Shu sababli direktor yoki maktabdagi mas'ul xodim tomonidan amalga oshiriladigan birlamchi baholash tezkor, amaliy va tejankor yechimdir. Bu usul orqali minglab maktablar bo'yicha ma'lumotlarni markazlashgan tizimga qisqa vaqt ichida kiritish mumkin bo'ladi. Bunda direktor bahosi yakuniy hukm sifatida emas, balki dastlabki ma'lumot sifatida qabul qilinadi. Ma'lumotlarning ishonchligini oshirish uchun platformada qo'shimcha tekshiruv mexanizmi ham mavjud bo'lishi zarur.

Fotosurat va sun'iy intellekt asosida tekshirish mexanizmi

"Maktabga xavfsiz qadam" platformasining muhim afzalliklaridan biri — direktor kiritgan bahoni maktab atrofidan yuklangan fotosuratlar yordamida qo'shimcha tekshirish imkoniyatidir. Direktor yoki mas'ul xodim baholash anketasini to'ldirish bilan birga, maktab atrofi yo'llarining rasmlarini ham tizimga joylaydi. Jumladan, maktabning asosiy kirish qismi, piyodalar o'tish joyi, yo'l belgilari, svetofor, yo'l chiziqlari va transport oqimi ko'rinadigan fotosuratlar yuklanadi. Platformaga birlashtirilgan sun'iy intellekt texnologiyasi ushbu tasvirlarni tahlil qilishga yordam beradi. U rasmlarda piyodalar o'tish joyi, yo'l belgisi, svetofor, sun'iy notekislik, piyodalar yo'lagi yoki yoritish moslamalari borligini aniqlash uchun qo'llanilishi mumkin. Masalan, direktor maktab atrofi holatini "yaxshi" deb baholaydi, biroq rasmlarda piyodalar o'tish joyi chizilmagani yoki "Bolalar" yo'l belgisi mavjud emasligi ko'rinsa, tizim ushbu holatni "qo'shimcha tekshiruv talab etiladi" deb belgilashi mumkin. Aksincha, direktor bahosi va tasvir tahlili bir-biriga mos kelsa, ma'lumotning ishonchlilik darajasi yuqori deb qayd etiladi. Sun'iy intellekt tahlili inson bahosining o'rnini to'liq bosmaydi. Chunki ayrim holatlarni, masalan, yo'lning qorong'i vaqtdagi yoritilishi yoki ma'lum soatlarda transport oqimining ortishi kabi omillarni faqat bitta surat orqali baholash qiyin bo'lishi mumkin. Shuning uchun sun'iy intellekt direktor ma'lumotini tekshiruvchi va xatolarni aniqlashga ko'maklashuvchi vosita sifatida ishlatiladi.

Hududlar kesimida monitoring va tezkor yordam

Platformaning yana bir asosiy imkoniyati — maktablar holatini viloyat, tuman va shaharlar kesimida monitoring qilishdir. Tizim boshqaruv panelida qaysi hududda nechta maktab "yaxshi", "o'rta", "past" yoki "juda yomon" baho olgani aks ettiriladi. Masalan, bir viloyatdagi tumanlardan birida "juda yomon" holatdagi maktablar soni ko'payib

ketsa, ushbu hududni alohida nazoratga olish mumkin bo'ladi. Yo'l harakati xavfsizligi xizmati, hokimlik, yo'l xo'jaligi tashkilotlari va ta'lim boshqarmasi birgalikda mazkur maktablar bo'yicha amaliy reja ishlab chiqadilar.

"Past" va "juda yomon" baholangan maktablar uchun quyidagi choralar tavsiya etilishi mumkin:

- piyodalar o'tish joyini tashkil etish;
- yo'l chiziqlarini qayta chizish;
- "Bolalar" va tezlikni cheklovchi yo'l belgilarini o'rnatish;
- sun'iy notekisliklar o'rnatish;
- tugmali svetoforlarni joriy etish;
- piyodalar yo'laglarini ta'mirlash;
- tungi yoritish tizimini yaxshilash;
- yo'l patrul xizmati nazoratini kuchaytirish;
- ota-onalar va o'quvchilar uchun tushuntirish

tadbirlarini tashkil etish.

IIV ma'lumotiga ko'ra, ta'lim muassasalari atrofida minglab tezlik cheklovchi yo'l belgilari, qavariq piyodalar o'tish joylari va 172 ta tugmali svetofor o'rnatilgan. [IIV Yo'l harakati xavfsizligi xizmati](https://gov.uz/uz/iiv/news/view/165050) (<https://gov.uz/uz/iiv/news/view/165050>). Bu kabi chora-tadbirlar maktab atrofidagi yo'l infratuzilmasini yaxshilash bolalar xavfsizligi uchun amaliy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi.

Bolalarning yo'l harakati qoidalari bo'yicha bilimni oshirish

Bolalar xavfsizligini ta'minlash faqat yo'l infratuzilmasini yaxshilash bilan cheklanmaydi. O'quvchilarning yo'l harakati qoidalari bo'yicha bilimni oshirish ham muhim profilaktik chora hisoblanadi. Shu sababli "Maktabga xavfsiz qadam" platformasida o'quvchilar uchun testlar, savol-javoblar, rasmlar, qisqa videolar va o'quv materiallarini joylashtirish maqsadga muvofiqdir.

Ushbu materiallar bolalarga yo'l harakati qoidalarini qiziqarli va sodda usulda o'rgatishga yordam beradi.

Testlarda quyidagi mavzular yoritilishi mumkin:

- svetofor signallarining ma'nosi;
- piyodalar o'tish joyidan foydalanish qoidalari;
- yo'lni kesib o'tishdan avval e'tibor berilishi kerak bo'lgan holatlar;
- yo'l belgilarini farqlash;
- jamoat transportida xavfsiz yurish qoidalari;
- velosiped va skuterda harakatlanish xavfsizligi;
- tungi va yomon ob-havo sharoitida harakatlanish qoidalari.

Testlar natijasi o'quvchilar kesimida saqlanib borishi mumkin. Bu esa maktab ma'muriyati va o'qituvchilarga bolalarning qaysi mavzularda bilimlari sustligini aniqlash, shu bo'yicha qo'shimcha tushuntirish ishlari olib borish imkonini beradi.



The screenshot shows a web application interface for 'Maktab Shaxsiy Kabineti'. At the top, there's a navigation bar with 'Navoiy viloyati', 'Qiziltepa tumani', and '24-maktab'. Below this, a search bar and filters for 'Holar' (All, Barcha holatlar, Yashil (>80 ball), Sariq (50-79 ball), Qizil (<50 ball)) are visible. The main content is a table with columns: O'rin, Maktab nomi, Hudud, Ball, and Holat. The table lists schools from 1-maktab to 16-maktab, all located in Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati. All schools have a score of 0 ball and a status of 'Baholannagan'.

O'rin	MAKTAB NOMI	HUUDUD	BALL	HOLAT
-	1-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	10-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	11-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	12-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	13-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	14-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	15-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan
-	16-maktab	Qiziltepa tumani, Navoiy viloyati	0 ball	Baholannagan

2-rasm. “Maktabga xavfsiz qadam” veb-platfomasining test rejimidagi ishchi oynasi

3. Xulosa

Bolalarning maktabga xavfsiz borib-kelishini ta'minlash — faqat bitta tashkilotning emas, balki butun jamiyatning vazifasidir. O'zbekistonda bolalar ishtirokidagi yo'l-transport hodisalari bo'yicha qayd etilgan statistik ma'lumotlar bu masalaning dolzarbligini yaqqol ko'rsatadi. “Maktabga xavfsiz qadam” veb-platfomasi maktablar atrofidagi yo'l infratuzilmasini muntazam baholash, xavfli nuqtalarni aniqlash va mas'ul tashkilotlar tomonidan tezkor choralar ko'rilishini ta'minlashga xizmat qiladi. Baholashni maktab direktorlari orqali tashkil etish vaqt, mablag' va inson resurslarini tejaydi. Chunki direktorlar o'z maktabi atrofidagi muammolarni bevosita kuzatib boradilar va hududni yaxshi biladilar. Fotosuratlarini sun'iy intellekt yordamida tahlil qilish esa direktorlar kiritgan ma'lumotlarni tekshirish, xatoliklarni kamaytirish va natijalarning ishonchligini oshirish imkonini beradi. Shuningdek, platfomadagi testlar bolalarning yo'l harakati qoidalarini bo'yicha bilimini oshirib, xavfsiz harakatlanish ko'nikmasini shakllantirishga yordam beradi. Demak, “Maktabga xavfsiz qadam” loyihasi maktablar, ota-onalar, yo'l harakati xavfsizligi xizmati, mahalliy hokimliklar va keng jamoatchilikni yagona maqsad — bolalar hayoti va salomatligini asrash yo'lida birlashtiruvchi zamonaviy hamda samarali raqamli yechimdir.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] <https://kun.uz/news/2024/02/29/2023-yilda-ozbekistonda-263-bola-yth-qurboni-bolgan-senat>

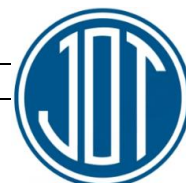
[2] O'zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo'mitasi. “O'zbekiston Respublikasining ijtimoiy-iqtisodiy holati: yo'l-transport hodisalarida jarohatlangan bolalar statistikasi.” 2021. Manba

[3] O'zbekiston Respublikasi IIV Yo'l harakati xavfsizligi xizmati. “Yo'llarda bolalar xavfsizligini ta'minlash maqsadida amalga oshirilayotgan ishlar.” 2026. Manba

[4] O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. “Avtomobil yo'llarida inson xavfsizligini ishonchli ta'minlash va o'lim holatlarini keskin kamaytirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi PQ-190-son qaror. 2022-yil 4-aprel.

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

Imamaliyev Dilshod / Dilshod Imamaliyev	Toshkent davlat transport universiteti “Yo'l muhandisligi va telemekikasi” kafedrasini mudiri, t.f.f.d., (PhD), dotsent E-mail: dilimshod@gmail.com Tel.: +998936023300
Sayfiyeva Dinara / Dinara Sayfiyeva	Toshkent davlat transport universiteti “Yo'l muhandisligi va telemekikasi” magistranti E-mail: dinarasayfiyeva@gmail.com Tel.: +998950480232



Research on the time norms for performing technological operations with multi-group trains at railway stations

K.N. Mustafaeva¹^a, Sh.B. Jumaev¹^b, A.Kh. Makhkamov²^c, Sh.M. Suyunbaev¹^d

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²JSC “Temiryo‘linfratuzilma”, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This article examines the issues of determining the technological time norms and substantiating the most rational sorting method in order to improve the efficiency of the process of assembling multi-group freight trains at marshalling yards. At present, at the stations of “Uzbekistan Railways” JSC, such trains are assembled mainly on the basis of the practical experience of the staff, which makes improving this process through modern technological approaches a relevant task. Using the example of Chuqursoy station, the study identified the problems of transit cars staying beyond the established time norm and the increased consumption of diesel fuel during shunting operations. Under identical conditions and using the example of train sets with a varying number of groups (from 3 to 15), the time spent on assembling the train set was calculated for the Sologub (“S”), combinatorial (“V”), and conditional-groups (“G”) methods. The results showed that the combinatorial sorting method (“V”) ensures the lowest time expenditure – 64.7 minutes for a 15-group train set – and makes it possible to achieve the highest economic efficiency. In addition, the relationship between the number of groups in a train set and the required number of sorting tracks was revealed on the basis of the Fibonacci numbers regularity. The obtained results, through the selection of a rational sorting method, contribute to eliminating the idle standing of trains on the sorting tracks, shortening the delivery time of freight, and saving diesel fuel.

Keywords:

multi-group train, marshalling yard, shunting operations, sorting cycle, shunting trip, technological time, sorting methods, station performance indicators

Temir yo‘l stansiyalarida ko‘p guruhli poyezdlar bilan texnologik operatsiyalar bajarishga sarflanadigan vaqt me‘yorlarini tadqiq etish

Mustafayeva K.N.¹^a, Jumayev Sh.B.¹^b, Maxkamov A.X.²^c, Suyunbayev Sh.M.¹^d

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²“Temiryo‘linfratuzilma” AJ, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya:

Mazkur maqolada saralash stansiyalarida ko‘p guruhli yuk poyezdlarini tuzish jarayonining samaradorligini oshirish maqsadida texnologik vaqt me‘yorlarini aniqlash va eng ratsional saralash usulini asoslash masalalari ko‘rib chiqilgan. Hozirgi kunda “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ stansiyalarida bunday poyezdlar asosan xodimlarning amaliy tajribasiga tayanib tuzilmoqda, bu esa jarayonni zamonaviy texnologik yondashuvlar asosida takomillashtirishni dolzarb vazifaga aylantiradi. Maqolada Chuqursoy stansiyasi misolida tranzit vagonlarning me‘yordan ortiqcha turib qolishi va manyovr ishlarida dizel yoqilg‘isi sarfining ortishi muammolari aniqlanib, bir xil sharoit va turlicha (3 tadan 15 tagacha) guruhli tarkiblar misolida Sologub (“S”), kombinatoriyali (“V”) va shartli guruhlar (“G”) usullari bo‘yicha tarkibni tuzishga sarflanadigan vaqt hisoblab chiqilgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, kombinatoriyali saralash usuli (“V”) eng kam vaqt sarfini – 15 ta guruhli tarkibda 64,7 daqiqani ta‘minlab, eng yuqori iqtisodiy samaradorlikka erishish imkonini beradi. Shuningdek, tarkibdagi guruhlar soni bilan zaruriy saralash yo‘llari soni o‘rtasidagi bog‘lanish Fibonachchi sonlari qonuniyati asosida ochib berilgan. Olingan natijalar ratsional saralash usulini tanlash orqali poyezdlarning saralash yo‘llarida ortiqcha turib qolishini bartaraf etish, yuklarni yetkazib berish muddatini qisqartirish va dizel yoqilg‘isi sarfini tejashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar:

ko‘p guruhli poyezd, saralash stansiyasi, manyovr ishlari, saralash sikli, manyovr reysi, texnologik vaqt, saralash usullari, stansiya ish ko‘rsatkichlari

^a <https://orcid.org/0009-0008-7807-0523>

^b <https://orcid.org/0000-0003-4905-9620>

^c <https://orcid.org/0009-0007-1843-0331>

^d <https://orcid.org/0000-0002-4867-8270>



1. Kirish

Temir yo'l stansiyalari transporti infratuzilmasining asosiy elementlaridan biri va davlat hamda aholining tashishlarga bo'lgan talablarini qanoatlantiruvchi asosiy bo'g'inlardan hisoblanadi. Saralash stansiyalarining asosiy vazifalaridan biri – turli yo'nalishlardagi vagonlardan iborat ko'p guruhli poyezdlarni tuzish bo'lib, bu jarayon eng ko'p mehnat va vaqt talab qiladigan texnologik operatsiyalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda so'nggi yillarda temir yo'l infratuzilmasini yaxshilash, yuklarni tashishda yangi zamonaviy texnologiyalarni qo'llash orqali yuk oqimini ko'paytirish hamda yuklarning sifatini o'zgartirmasdan dunyo bozoriga yetkazish bo'yicha bir qancha ishlar amalga oshirilmogda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli Farmonida "Barcha transport turlarini uzviy bog'lagan holda yagona transport tizimini rivojlantirish, ... transport va logistika xizmatlari bozori va infratuzilmasini rivojlantirish, ... multimodal transport-logistika markazlari tarmog'ini rivojlantirish konsepsiyasini ishlab chiqish" hamda 2023-yil 10-oktyabrda "O'zbekiston Respublikasi temir yo'l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-329-sonli Qarorida "Yuk tashish xizmatlarini amalga oshirish, yuk vagon va konteyner xo'jaligini saqlash va rivojlantirish, multimodal "eshikdan eshikkacha" tashuvlarni yo'lga qo'yish, logistika markazlari va terminallarini tashkil etish" bo'yicha vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda saralash stansiyalarining ish samaradorligi, xususan vagonlarning stansiyalarda ortiqcha turib qolmasligi muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu vazifalarni bajarishda, jumladan, vagonlar aylanmasi umumiy qiymatining 40% dan 45% gacha qismini vagonlarning texnik stansiyalarda turib qolishi tashkil qilayotgan sharoitda, temir yo'llarda ko'p guruhli poyezdlar bilan texnologik operatsiyalar bajarish texnologiyasini takomillashtirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili

Saralash stansiyalarida ko'p guruhli poyezdlarni tuzish va manyovr ishlari samaradorligini oshirish masalalari ko'plab ilmiy maqolalarda ko'rib chiqilgan. Temir yo'l transportida vagon oqimlari hajmining ortib borishi va yuklarni o'z vaqtida yetkazib berishga qo'yiladigan talablarning kuchayishi tarkiblarni tuzish jarayonini tezlashtirish hamda manyovr ishlarini optimallashtirishni dolzarb vazifaga aylantirmogda. Shu sababli mavjud ilmiy ishlarda asosan tarkiblarni tuzishning texnologik usullari, vagonlar guruhini saralash sxemalari, manyovr reyslari va saralash sikllarining ratsional ketma-ketligi hamda vagon oqimlarini boshqarish masalalari tahlil qilingan.

Jahonda bu yo'nalishda keng qamrovli izlanishlar olib borilmogda. Vagonlarni saralash texnologiyasi, manyovr ishlarini optimallashtirish, yoqilg'i sarfini kamaytirish, stansiyalar ishini modellashtirish va resurslardan samarali foydalanish kabi ustuvor masalalar Rossiya, Germaniya, Xitoy, AQSh, Daniya, Polsha va boshqa ilg'or transport tizimiga ega davlatlar olimlari tomonidan chuqur tadqiq etilgan. Jumladan, V.I. Bobrovskiy, G.I. Buxalo, N.K. Sologub, O.O. Grenkevich va I.Ya. Skovron kabi mutaxassislar ko'p guruhli tarkiblarni samarali

shakllantirish va ularning texnologik sxemalarini ishlab chiqishga e'tibor qaratganlar; ayniqsa, Sologub tomonidan taklif etilgan usul ko'plab tadqiqotlarda taqqoslovchi asos sifatida qo'llanilgan. Bundan tashqari, transport tizimlarini avtomatlashtirish va axborot texnologiyalarini joriy etishga oid izlanishlar doirasida Zhang va Zhao tomonidan ilgari surilgan model asosida zamonaviy stansiyalar faoliyatini optimallashtirish imkoniyatlari o'rganilgan.

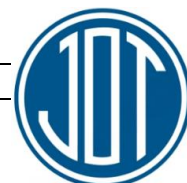
Yurtimizda esa S.M. Suyunbayev, A.M. Bashirova, S.K. Xudayberganov va Sh.B. Jumayev kabi olimlar "Shartli guruhlar" va "Kombinatorika" usullari asosida ko'p guruhli poyezdlarni shakllantirishning amaliy jihatlarini o'rganib, stansiyalardagi ishlarni modellashtirish, vagonlarni saralash vaqtini qisqartirish va yoqilg'i sarfini kamaytirishga doir ijobiy natijalarga erishganlar.

Ilmiy ishlar tahlili shuni ko'rsatadiki, saralash stansiyalarining ish samaradorligini oshirish ikki asosiy yo'nalish – texnologik va tashkiliy yechimlar orqali amalga oshiriladi.

Texnologik yondashuvlarda ko'p guruhli tarkiblarni tuzishning turli usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish masalalari ko'rib chiqilgan. Bu yo'nalishdagi dastlabki va asosiy ishlardan biri N.K. Sologubga tegishli bo'lib, u [1] tadqiqotida saralash parki yo'llarining optimal sonini aniqlash masalasini o'rgangan. Muallif mahalliy vagonlarni detallashtirilgan holda yig'ish usulini taklif etib, saralash yo'llari soni va vagon oqimi o'rtasidagi bog'liqlikni asoslab bergan; mazkur usul keyingi ko'plab tadqiqotlarda boshqa usullarni baholash uchun taqqoslovchi asos sifatida qabul qilingan. I.Ya. Skovron [2] izlanishlarida ko'p guruhli tarkiblarni tuzish texnologiyasi va texnik vositalarini takomillashtirish masalalari tahlil qilinib, muallif vagonlar guruhini saralashning bir necha usulini tizimlashtirgan va ularni saralash yo'llari soniga bog'liq ravishda tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqqan. 1985-yilda MPS tomonidan ishlab chiqilgan maxsus ko'rsatmada [3] ko'p guruhli tarkiblarni tuzishning yangi – kombinatoriyali texnologiyasini joriy etish masalasi bayon etilgan bo'lib, unda tarkibdagi guruhlar soni va saralash yo'llari o'rtasidagi bog'liqlik hamda manyovr reyslarining ketma-ketligini aniqlash usullari keltirilgan. S.K. Xudayberganov va hammualliflarning [4] tadqiqotida "Sologub" va kombinatoriyali saralash usullarini saralash stansiyasi sharoitida qo'llash natijalari aniq hisob-kitoblar asosida taqqoslangan. Shu yo'nalishdagi boshqa bir ishda [5] esa "Shartli guruhlar bo'yicha saralash" va "Kombinator saralash" usullarini qo'llash natijalari tahlil qilinib, haqiqiy guruhlar shartli guruhlariga birlashtirishning asosiy qoidalari asoslab berilgan; bu esa tartibga solinishi lozim bo'lgan guruhlar sonini va manyovr ishlari hajmini kamaytirish imkonini bergan. G.I. Buxalo [6] esa mahalliy saralash tizimlari parametrlarini kompleks optimallashtirish masalasini o'rganib, tizim parametrlarini o'zaro muvozanatlashtirish orqali umumiy samaradorlikni oshirish mumkinligini ko'rsatgan.

Shu bilan birga, zamonaviy axborot texnologiyalari rivojlangan sharoitda Zhang va Zhao [7] tomonidan taklif etilgan model stansiyalar faoliyatini raqamlashtirish va jarayonlarni avtomatlashtirilgan holda optimallashtirish imkoniyatlarini ochib beradi.

Ushbu texnologik yechimlar manyovr ishlari samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega bo'lsa-da, ularda (Zhang va Zhao [7] modeli bundan mustasno



bo'lib) asosan yagona usul qo'llanilib, turli usullarning samaradorligi bir xil sharoitda, turlicha guruh sonlari uchun yetarli darajada qiyoslanmagan. Shuningdek, tanlangan usulning stansiyaning real ish ko'rsatkichlariga – tarkibni tuzish vaqti, yoqilg'i sarfi va iqtisodiy xarajatlarga ta'siri kompleks tahlil qilinmagan.

Tashkiliy yondashuvlarda vagon oqimlarini tashkil etish va stansiya ish ko'rsatkichlarini boshqarish masalalari o'rganilgan. D.B. Butunov [8] tadqiqotida saralash stansiyalarida vagon oqimlarini tashkil etish va boshqarishning texnik-ekspluatatsion baholash usullari tahlil qilinib, muallif vagon oqimlarini ilmiy asoslangan ko'rsatkichlar orqali boshqarish stansiya ish ko'rsatkichlarini yaxshilashga olib kelishini asoslab bergan. Sh.M. Suyunbayev va hammualliflar [9] "O'zbekiston temir yo'llari" AJ temir yo'llarida ko'p guruhli poyezdni tarqatish va tuzish jarayonini mahalliy sharoitda bevosita o'rganib, real natur varoqlari ma'lumotlari asosida vagonlarning yo'nalishlar bo'yicha taqsimlanishini tahlil qilganlar va ko'p guruhli poyezdlar ulushining yuqoriligini aniqlaganlar. A.V. Rojkov, Sh.M. Suyunbayev va hammualliflar [10] monografiyasida zavod ichidagi temir yo'l tashishlarini optimallashtirish masalalari atroflicha ko'rib chiqilib, sanoat temir yo'llarida manyovr lokomotivlari va yo'l infratuzilmasidan samarali foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. M.V. Fufacheva [11] esa ikki yo'lli liniyalarda uzun tarkibli yuk poyezdlari harakatida tashishlarni bosqichma-bosqich egallash usullarini rivojlantirib, liniyaning o'tkazuvchanlik va tashish imkoniyatlaridan yuqori darajada foydalanish mumkinligini asoslab bergan.

Bu tashkiliy yechimlar vagon oqimlarini tashkil etish va resurslardan foydalanishni yaxshilash orqali stansiya ish ko'rsatkichlarini oshirishda muhim ahamiyatga ega bo'lsa-da, ularda tarkiblarni tuzishning texnologik jihatlari, xususan saralash usullarini o'zaro qiyoslab eng samaralisini tanlash hamda texnologik vaqt bilan iqtisodiy ko'rsatkichlar o'rtasidagi bog'liqlik yetarlicha o'rganilmagan.

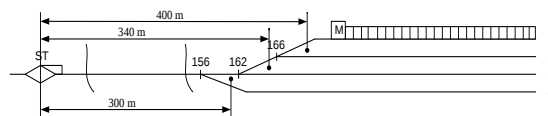
Yuqoridagi tahlildan ko'rinadiki, mavjud tadqiqotlarda texnologik va tashkiliy yondashuvlar ko'pincha alohida o'rganilgan bo'lib, turli saralash usullarining stansiya ish ko'rsatkichlariga ta'sirini qiyosiy baholash masalasi ochiq qolmoqda. Shu bois mazkur maqolada saralash stansiyalarida ko'p guruhli poyezdlarni tuzishga sarflanadigan texnologik vaqtni qisqartirish masalasi ko'rib chiqiladi. Unda Sologub ("S"), kombinatoriyali ("V") va shartli guruhlar ("G") usullari bir xil sharoitda, turlicha guruh sonlari uchun o'zaro qiyoslanib, eng ratsional usul texnologik vaqt va iqtisodiy samaradorlik bo'yicha asoslab beriladi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Maqolada saralash stansiyalarida ko'p guruhli yuk poyezdlarini tuzishga sarflanadigan texnologik vaqtni aniqlash va mavjud usullar orasidan eng ratsionalini asoslash maqsadida tahliliy, qiyosiy va hisobiy usullardan foydalanildi. Manbalar tahliliga ko'ra [5] ko'p guruhli tarkiblarni tuzishning barcha usullarini shartli ravishda uch guruhga – bitta lokomotiv bilan tuzish, ikkita lokomotiv bilan sinxron tuzish hamda ikkita lokomotiv bilan bir nechta tarkibni bir vaqtda tuzish usullariga ajratish mumkin.

"O'zbekiston temir yo'llari" AJ stansiyalaridagi texnik jihozlanganlik xususiyatlari, yuk frontlari va manyovr lokomotivlarining ish sharoitlaridan kelib chiqib, tadqiqot obyekti sifatida birinchi guruhga oid usullar tanlandi. Vagonlar guruhini saralash va qayta joylashtirish beshta usul bilan amalga oshirilishi mumkin [2]: Sologub usuli ("S"), kombinatoriyali saralash usuli ("V"), minimal sikllar usuli ("A"), shartli guruhlar bo'yicha saralash usuli ("G") va guruhlar bo'yicha taqsimlash usuli ("W"). Ulardan amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan "S", "V" va "G" usullari batafsil o'rganildi.

Tarkibni jamlash ketma-ket joylashgan yo'llardan vagonlarni mos yo'lga yig'ish orqali amalga oshiriladi. Bunda, ko'p guruhli poyezdning qayta yig'ilish jarayonini amalga oshirish uchun saralash tepaligi va yo'llarning joylashuvi sxemasi zarur bo'ladi (1-rasm).



1-rasm. Saralash tepaligi va zaruriy yo'llarning joylashuv sxemasi

Yuqoridagi usullar bo'yicha vagonlar guruhini yo'ldan yo'lga olib o'tishda manyovr yarimreyslarining davomiyligi quyidagi formula orqali aniqlanadi [2]:

$$t_{yar} = (2,44 + 0,1 \cdot m) \cdot v/2 + 3,6 \cdot l_{yar}/v, \text{ daq.} \quad (1)$$

bunda: 2,44 – to'xtash va qo'zg'alish paytida lokomotiv harakat tezligini 1 km/soatga o'zgarishini hisobga oluvchi zaruriy vaqt koeffitsienti, sek/km/soat;

0,1 – to'xtash va qo'zg'alish paytida manyovr tarkibidagi har bir vagonning harakat tezligini 1 km/soatga o'zgarishini hisobga oluvchi qo'shimcha vaqt koeffitsienti, sek/km/soat;

m – manyovr tarkibidagi vagonlar soni, vag.;

v – manyovr vaqtida ruxsat etilgan tezlik, km/soat;

l_{yar} – yarim reys uzunligi, m.

Mahalliy vagonlarni tepalik qurilmalari orqali saralash vaqtida bitta siklga sarflanadigan vaqt miqdori quyidagicha aniqlanadi [2]:

$$t_{sar} = t^{tush} + t^{joy} + t^{tor}, \text{ daq.} \quad (2)$$

bunda: t^{tush} – saralash tepaligidan tarkibni tushirishga sarflanadigan vaqt;



t^{tush} – vagon guruhlarini (tarkibini) har bir saralash siklidan keyin saralash tepaligiga tortishga sarflanadigan vaqt. Ushbu vaqt har bir texnologiya uchun har xil bo'lgan manyovr yarimreyslari sonining davomiyligi yig'indisi bo'yivha aniqlanadi, daq.

$$t^{tush} = (0,06 \cdot m_t \cdot l_v / v_{tush}) \cdot (1 - 1/g_{uz}), \text{ daq.} \quad (3)$$

bunda: l_v – vagon uzunligi, m;

v_{tush} – to'xtash va qo'zg'alish paytida manyovr tarkibidagi har bir vagonning harakat tezligini 1 km/soatga o'zgarishini hisobga oluvchi qo'shimcha vaqt koeffitsienti, km/soat;

m_t – tarqatilayotgan tarkibdagi vagonlar soni, vag.;

g_{uz} – tarqatilayotgan tarkibdagi uzilishlar soni;

t^{joy} – mos ravishda tarkibni bir-biriga ulash vaqti, daq.;

$$t^{joy} = 0,06 \cdot m_t, \text{ daq.} \quad (4)$$

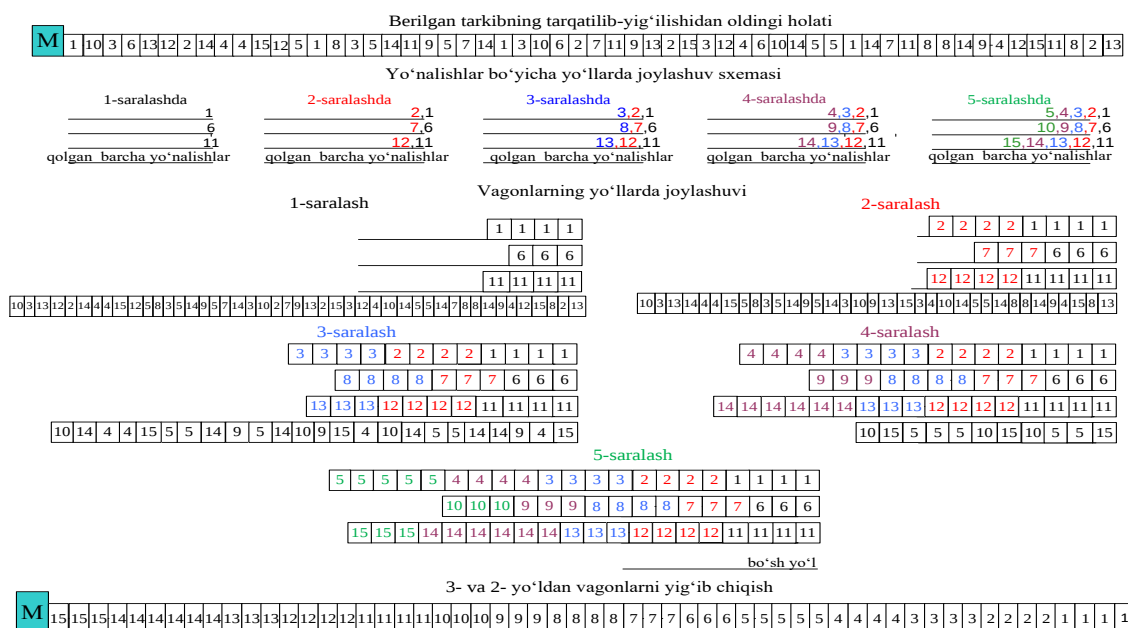
“S” usuli bo'yicha bitta saralash siklida (Z-1) yo'nalish guruhi yig'iladi (bunda Z – saralash yo'llari soni), tarkibni tuzish uchun talab etiladigan saralash sikllari soni esa quyidagicha aniqlanadi:

$$k_c = \frac{n-1}{z-1} \quad (5)$$

bunda: n – saralanayotgan tarkibdagi mahalliy vagonlarning yo'nalishlari soni.

(5) formula natijasida olingan qiymat katta tomonga qarab butun songa yaxlitlanadi. Har bir k -saralashda j -yo'lda qaysi yo'nalishlar bo'lishi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$S_{(k,j)} = k + (j - 1) \cdot k_c \quad (6)$$



2-rasm. “S” usulga muvofiq berilgan tarkibni saralash texnologiyasi

“Kombinator saralash” usuli (“V” usuli) yordamida tarqatilishi ko'zda tutilgan ko'p guruhli poyezdning qayta yig'ilish jarayonini amalga oshirish uchun saralash tepaligi va yo'llarning joylashuvi sxemasi zarur bo'ladi (3-rasm).

Kombinatoriyali usul bo'yicha ko'p guruhli poyezdlarni tuzishda tarkibdagi guruhlar soni va mavjud yo'llar soni muhim ahamiyatga ega. Temir yo'l transporti sohasida turli yillar davomida bu ikki ko'rsatkich orasidagi bog'liqlikni aniqlash asosiy muammo bo'lib kelgan. Tadqiqotlar natijasida ko'p guruhli poyezd tarkibidagi guruhlar soni zaruriy yo'llar bilan Fibonachchi sonlari [3] orqali bog'liq ekanligi aniqlandi.

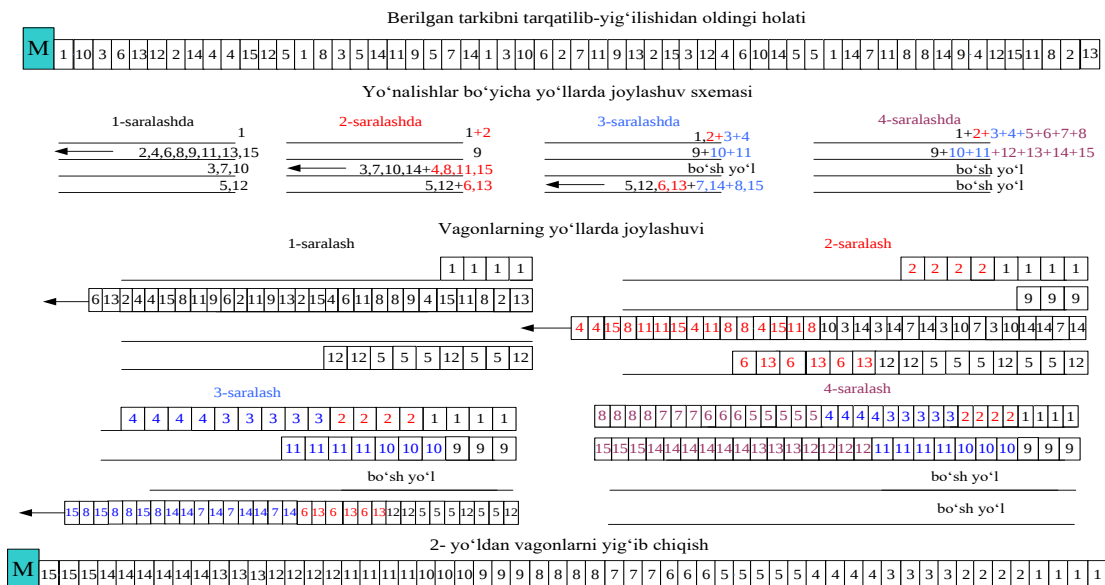
Ushbu bog'liqlikning mohiyati shundan iboratki, “V” usulida har bir saralash sikli oldingi sikllarda hosil bo'lgan guruhlarini birlashtirib, yangi kattaroq guruhlarini shakllantiradi. Natijada, muayyan sikldagi mumkin bo'lgan guruhlar soni oldingi ikki sikl natijalarining yig'indisiga bog'liq holda o'sib boradi — bu esa Fibonachchi ketma-ketligining asosiy xususiyati (har bir keyingi had oldingi ikki hadning yig'indisiga teng bo'lishi) bilan mos keladi. Boshqacha aytganda, saralash yo'llari soni (Z) ortishi bilan ularda joylashtirilishi mumkin bo'lgan guruhlar soni (n) chiziqli emas, balki tezlashuvchi (Fibonachchiga xos) sur'atda ortadi, bu esa (5)-formulada keltirilgan sikllar sonini (k_c) hisoblash mantig'ining nazariy asosini tashkil



etadi. Ushbu bog'liqlik ilgari BRTYTITI mutaxassislari tomonidan Beskudnikovo stansiyasi misolida amaliy tarzda tasdiqlangan [8].

Ushbu usul [4] da batafsil bayon etilgan va ko'p guruhli poyezd tarkiblarini saralash tepaligida yig'ish yoki qayta saralash uchun mo'ljallangan. Umuman olganda, shartli guruhli saralash usulida ko'p guruhli poyezdlarni saralash va yig'ish amallari [4] da bayon etilgan kombinator saralash

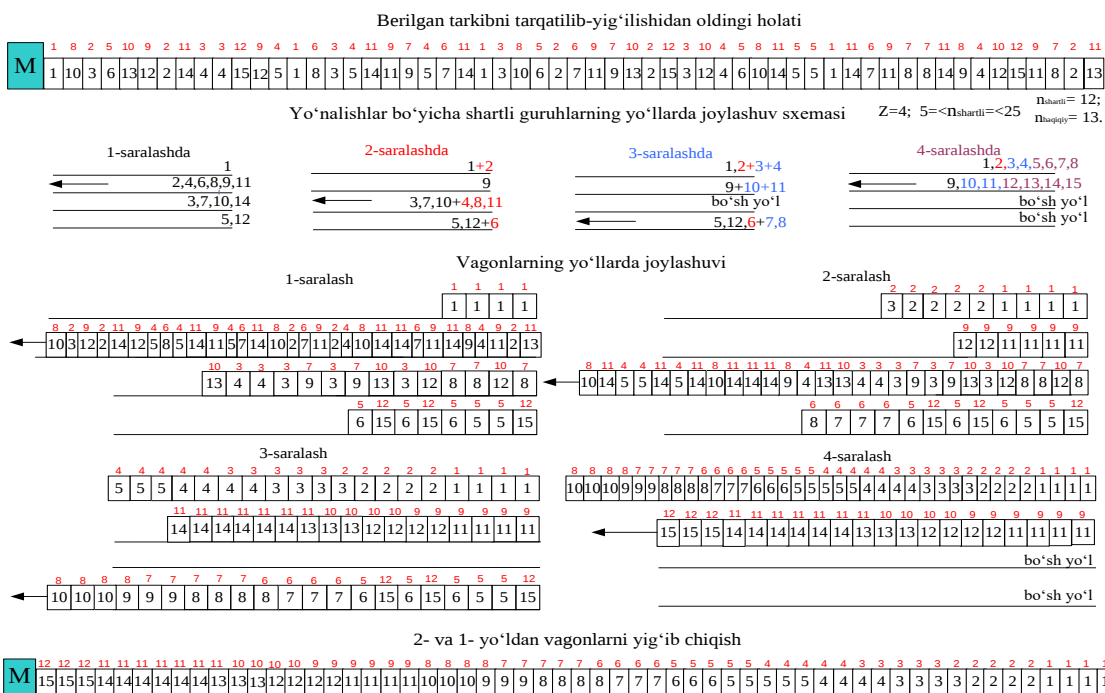
usuliga o'xshash va ushbu usul bo'yicha ba'zi amallar takrorlanadi. Manyovr reyslarini qisqartirish eng samarali natija berishi, vagonlarni qayta saralashga sarflanadigan vaqt esa saralash yo'llari soni to'rttadan oshmaganda eng maqbul qiymatga erishishi inobatga olindi. Shu asosda yaratilgan texnologiya 2, 3 va 4 saralash yo'li bilan vagonlarni yig'ish ketma-ketligini belgilaydi [1] (3-rasm).



3-rasm. "V" usulga muvofiq berilgan tarkibni saralash texnologiyasi

Shartli guruhlar ("G") usulida [4] haqiqiy guruhlar shartli guruhlariga birlashtiriladi; birlashtirishning asosiy qoidalari [5] ishda bayon etilgan. Natijada shartli guruhlar soni haqiqiy guruhlar sonidan kichik bo'lib, tarkibni yig'ish

uchun zarur saralashlar va bir yo'ldan boshqasiga o'tishlar soni kamayadi (4-rasm).



4-rasm. "G" usulga muvofiq berilgan tarkibni saralash texnologiyasi



Barcha hisob-kitoblar bir xil sharoit – TEM-2 markali manyovr teplovozi va bir xil tarkib (57 vagon) uchun bajarildi. Har bir usul bo'yicha olingan natijalar jadvallar ko'rinishida tizimlashtirilib, bajarilgan saralash sikllari va manyovr reyslari soni hamda umumiy sarflangan vaqt o'zaro qiyoslandi. Shu asosda tarkibni tuzishga sarflanadigan texnologik vaqtning poyezdlarning saralash yo'llarida turib qolishi, yuklarni yetkazib berish muddati, manyovr lokomotivlaridan foydalanish ko'rsatkichlari va saralash tepaligining qayta ishlash qobiliyatiga ta'siri baholandi.

3. Natijalar va muhokama

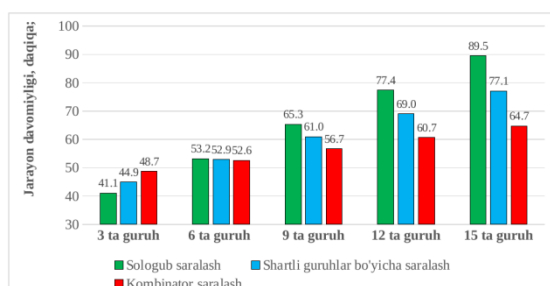
Ko'p guruhli poyezdlar tarkibini shakllantirishda qo'llaniladigan saralash usuli jarayonning umumiy davomiyligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan uchta usul – Sologub ("S"), shartli guruhlar bo'yicha saralash ("G") va kombinatoriyali saralash ("V") usullari turlicha (3 tadan 15 tagacha) guruhga ega tarkiblar misolida qiyosiy tahlil qilindi. Har bir usul uchun saralash jarayoni davomiyligi hisoblab chiqilib, natijalar o'zaro solishtirildi (1-jadval).

1-jadval

Ko'p guruhli poyezdlarni taklif etilayotgan usullar orqali tarqatishdagi vaqt sarfi

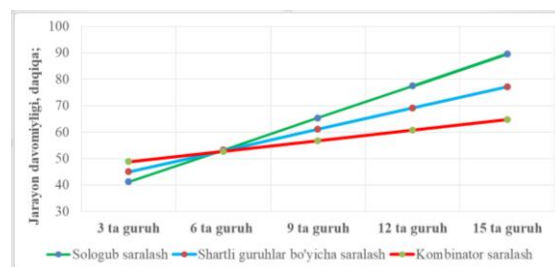
Guruhlar soni	"Sologub" usuli bo'yicha	"Shartli guruhlar" usuli bo'yicha	"Kombinatorika" usuli bo'yicha
3 ta guruh	41,1	44,9	48,7
6 ta guruh	53,2	52,9	52,6
9 ta guruh	65,3	61,0	56,7
12 ta guruh	77,4	69,0	60,7
15 ta guruh	89,5	77,1	64,7

1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinaki, guruhlar soni 3 tadan 15 tagacha ortgan sari barcha usullarda vaqt sarfi oshib boradi, biroq bu o'sish har bir usulda turlicha intensivlikka ega. "Sologub" usulida vaqt sarfi eng keskin ortadi: 3 ta guruhda 41,1 daqiqadan 15 ta guruhda 89,5 daqiqagacha. "Shartli guruhlar" usuli o'rtacha samaradorlik ko'rsatib, 15 ta guruhda 77,1 daqiqani tashkil etadi. "Kombinatorika" usuli esa barcha holatlarda eng kam vaqt sarfini ta'minlaydi va 15 ta guruhda atigi 64,7 daqiqani talab qiladi.



5-rasm. Turli usullar asosida saralash davomiyligini guruhlar soniga qarab solishtirish

5-rasmdagi ustunli diagramma usullar o'rtasidagi farqni yaqqol ko'rsatadi. Guruhlar soni kam bo'lganda (3-6 ta) usullar orasidagi farq, guruhlar soni ko'p bo'lgandagi (9-15 ta) farqqa nisbatan kamroq. 15 ta guruh bo'lgan holatida "Kombinatorika" usuli "Sologub" usuliga nisbatan 24,8 daqiqa, "Shartli guruhlar" usuliga nisbatan esa 12,4 daqiqa kam vaqt sarflaydi.



6-rasm. Saralash davomiyligi o'zgarishining usullar bo'yicha tendensiyasi

6-rasmdagi chiziqli diagramma vaqt sarfining o'sish tendensiyasini ko'rsatadi. "Sologub" usuli eng tik va keskin o'suvchi chiziqqa ega bo'lib, guruhlar soni ortgani sari saralash davomiyligi keskin oshadi. "Shartli guruhlar" usulida o'sish nisbatan barqaror kechadi. "Kombinatorika" usuli esa eng past o'sish trendiga ega bo'lib, vaqt resurslarini eng tejamkor sarflaydi va katta guruh sonlarida samaradorligini saqlab qoladi.

Hozirgi kunda Chuqursoy stansiyasida ko'p guruhli poyezdlarni tarqatish uchun o'rtacha 90 daqiqa vaqt sarflanishini inobatga olgan holda, taklif etilayotgan usullar bo'yicha tejaladigan vaqt miqdori hisoblandi (2-jadval).

2-jadval

Ko'p guruhli poyezdlarni tarqatishda hozirgi kunda qo'llanilayotgan texnologiya va taklif etilayotgan usullar uchun sarflanadigan vaqtlar farqi

Usul nomi	Sikllar soni, dona	Tejaladigan yoqilg'i sarfi, kg
Sologub	5	17
Shartli guruhlar	4	33
Kombinatorika	4	33

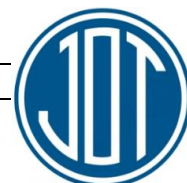
Yoqilg'i sarfi bo'yicha tahlil ham o'tkazildi. 15 ta guruhli tarkib uchun xronometraj asosida aniqlanishicha, "Shartli guruhlar" va "Kombinatorika" usullari (har biri 4 ta sikl bilan) 33 kg gacha yoqilg'i tejashga imkon beradi, "Sologub" usulida esa sikllar soni 5 taga teng bo'lib, atigi 17 kg yoqilg'i tejaladi (3-jadval).

3-jadval

Ko'p guruhli poyezdlarni tarqatishda hozirgi kunda qo'llanilayotgan texnologiya va taklif etilayotgan usullar uchun sarflanadigan yoqilg'ini tejash miqdori

Usul nomi	Sikllar soni, dona	Tejaladigan yoqilg'i sarfi, kg
Sologub	5	17
Shartli guruhlar	4	33
Kombinatorika	4	33

Saralash usullarining iqtisodiy samaradorligi tarkibni tarqatishda tejaladigan vaqt va yoqilg'i xarajatlari bo'yicha baholandi. Hisob-kitobda Chuqursoy stansiyasi uchun aniqlangan ko'rsatkichlar – sutkalik tarqatiladigan poyezdlar



soni (13 ta), manyovr lokomotivining lokomotiv-soat xarajat stavkasi

(218 913 so'm/soat) va yoqilg'i narxi (14 650 so'm/kg) qo'llanildi. Natijada "Kombinatorika" usuli bo'yicha yillik iqtisodiy samara 2 milliard 730 million so'mni tashkil etdi; bu ko'rsatkich "Sologub" usuliga nisbatan qariyb 2 baravar, "Shartli guruhlar" usuliga nisbatan esa 200 million so'mdan ortiq yuqori.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, saralash sikllari va manyovr reyslari sonining kamayishi tarkibni tuzishga sarflanadigan texnologik vaqtni sezilarli darajada qisqartiradi. Yig'ish sikllari davomiyligi guruhlar soniga nisbatan deyarli o'zgarmaganligi sababli, asosiy vaqt yuklamasi aynan saralash bosqichiga to'g'ri keladi va aynan shu bosqichni optimallashtirish maqsadga muvofiqdir.

4. Xulosa

Mazkur maqolada saralash stansiyalarida ko'p guruhli yuk poyezdlarini tuzish jarayonining samaradorligini oshirish maqsadida texnologik vaqt me'yorlarini aniqlash va eng ratsional saralash usulini asoslashning nazariy hamda amaliy jihatlarini o'rganildi. Tarkibni tuzishga sarflanadigan vaqtni hisoblash bo'yicha yondashuv qo'llanilib, tarkibdagi vagonlar soni, guruh yo'nalishlari soni, mavjud saralash yo'llari soni, manyovr yarimreyslari davomiyligi hamda saralash va yig'ish sikllari kabi asosiy texnologik omillar kompleks tarzda hisobga olindi.

Ko'p guruhli poyezdlarni tuzish va mahalliy vagon oqimlariga ishlov berish ishlarini tezlashtirish bo'yicha ilmiy ishlar tahlili shuni ko'rsatdiki tuzishning ratsional texnologiyalarini izlash qiyin optimallashtirilgan masala hisoblanadi va u hozirgi kunga qadar ham to'liq o'z yechimini topmagan. Shu sababli stansiyalarda ko'p guruhli poyezdlarni tuzish jarayonlari samaradorligini oshirish bo'yicha turli texnologik hamda rekonstruktiv tadbirlar tahlili o'tkazildi va quyidagi innovatsion g'oya tuzildi: Mahalliy vagon oqimlariga ishlov berish hamda ko'p guruhli poyezdlarni tuzish uchun stansiya saralash parki yo'llarini seksiyalashtirishning samaradorligi.

Sologub ("S"), shartli guruhlar ("G") va kombinatoriyali ("V") usullari bir xil sharoitda, 3 tadan 15 tagacha guruhli tarkiblar misolida qiyoslanganda, barcha holatlarda guruhlar soni ortgan sari vaqt sarfi oshib borishi aniqlandi. Biroq bu o'sish "Sologub" usulida eng keskin (15 ta guruhda 89,5 daqiqa), "Kombinatorika" usulida esa eng kam (64,7 daqiqa) bo'lib, "Shartli guruhlar" usuli oraliq natija (77,1 daqiqa) ko'rsatdi. "Kombinatorika" usuli Tarkibni tuzishga sarflanadigan vaqt bevosita saralash sikllari va manyovr reyslari soniga bog'liq bo'lib, yig'ish sikllari davomiyligi guruhlar soniga nisbatan deyarli o'zgarmasligi sababli asosiy vaqt yuklamasi saralash bosqichiga to'g'ri keladi va optimallashtirish ham aynan shu bosqichga qaratilishi lozim.

Chuqursoy stansiyasi uchun o'tkazilgan qiyosiy baholash natijalariga ko'ra, 15 ta guruhdan iborat ko'p guruhli poyezdlarni tarqatishda "Kombinatorika" usuli vaqt va yoqilg'i sarfi bo'yicha eng tejankor usul ekanligi hamda yiliga 2 milliard 730 million so'm iqtisodiy samara berishi asoslandi. Ushbu usulni qo'llash poyezdlarning saralash yo'llarida ortiqcha turib qolishini bartaraf etib, manyovr lokomotivlarining dizel yoqilg'isi sarfini kamaytirish, harakat tarkibidan samarali foydalanish hamda yuklarni yetkazib berish muddatlarini qisqartirish imkonini beradi. Shu bilan birga, ratsional usulni tanlash orqali mavjud

infratuzilma sharoitida, katta kapital qo'yilmalarsiz ham stansiya ish ko'rsatkichlarini yaxshilashga erishish mumkinligi ko'rsatildi.

Yuqorida sanalgan barcha usullar ko'p guruhli poyezdlarni qayta ishlaydigan istalgan stansiya uchun o'rinalidir, chunki ular ma'lum bir stansiyaning texnik xususiyatlariga emas, balki ko'p guruhli tarkiblarni qayta ishlashning umumiy mantiqiga asoslangan. Namunaviy hisob-kitoblar esa uslubiyatning amaliy jihatdan qo'llanilishini ko'rsatish maqsadida Chuqursoy stansiyasi misolida amalga oshirildi.

Olingan natijalar saralash stansiyalarida ko'p guruhli poyezdlar bilan texnologik operatsiyalarni tashkil etishni takomillashtirish, manyovr ishlarini optimallashtirish hamda stansiyaning qayta ishlash qobiliyatini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Сологуб Н.К. Определение оптимального числа путей сортировочного парка грузовой станции // В сб. «Путевое развитие грузовых станций». Рукопись депонирована в ЦНИИТЭИ МПС, 28.05.81. – 14 с.
- [2] Сковрон И.Я. Совершенствование технологии и технических средств формирования многогруппных составов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2015. – 24 с.
- [3] Указание МПС №Г-26737 от 26.08.85. О внедрении новой технологии формирования многогруппных составов. М.: МПС, 1985.
- [4] Худайбергенов С.К., Суюнбаев Ш.М., Жумаев Ш.Б. Саралаш станциясида кўп гурухли поездларни тузиш жараёнига "Сологуб" ва комбинаторияли саралаш усулларини қўллаш натижалари // ТошТЙМИ Ахбороти. – 2019 – № 4. – 62-72 б.
- [5] Худайбергенов С.К. Кўп гурухли поездларни тузиш жараёнида "Шартли гурухлар бўйича саралаш" ва "Комбинатор саралаш" усулларини қўллаш натижалари / Ш.М. Суюнбаев, А.М. Баширова, Ш.Б. Жумаев // ТошТЙМИ ахбороти. – 2020. – №1. – 89-95 б.
- [6] Бухало Г.И. Комплексная оптимизация параметров местных сортировочных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: РГОТУПС, 2000. – 24 с.
- [7] Jinchuan Zhang. The empty wagons adjustment algorithm of Chinese heavy-haul railway / Jinchuan Zhang, Hao Yang, Yuguang Wei, Pan Shang // Chaos, Solitons and Fractals. – 2016. – №.89. – pp. 91-99.
- [8] Бутунов Д.Б. Совершенствование методов технико-эксплуатационной оценки организации и управления вагонопотоками сортировочных станций. Дис. док. фил. (PhD). Ташкент: ТашиИИТ. – 2019. – 187 с.
- [9] Суюнбаев Ш.М. Процесс расформирования и формирования многогруппного поезда на железных дорогах АО «Узбекистан темир йуллари» / Ш.М. Суюнбаев, Ш.Б. Жумаев, М.Д. Ахмедова // Транспорт шёлкового пути. – 2020. – №3. – С. 30-38.
- [10] Рожков А.В., Суюнбаев Ш.М., Балабаев О.Т. и др. Оптимизация внутризаводских железнодорожных перевозок: Монография. – Ташкент: Complex Print, 2020. – 176 с.
- [11] Фуфачева М.В. Развитие методов этапного овладения перевозками на двухпутных линиях при



обращении длинносоставных грузовых поездов: Дис. канд. техн. наук. Екатеринбург: УрГУПС.– 2010. – 144 с.

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

Mustafayeva Tashkent davlat transport
Kamola Nuriddin universiteti "Temir yo'ldan
qizi / Kamola foydalanish ishlarini
Mustafaeva boshqarish" kafedrasida
doktoranti.

E-mail:
kamolamustafayeva08@gmail.com

Tel.: +998 93 331 10 08

<https://orcid.org/0009-0008-7807-0523>

Jumayev Sherzod Tashkent davlat transport
Bahrom o'g'li / universiteti "Temir yo'ldan
Sherzod Jumaev foydalanish ishlarini
boshqarish" kafedrasida
dotsenti, texnika fanlari
bo'yicha falsafa doktori
(PhD), dotsent

E-mail:
shbjumayev_92@mail.ru

Tel.: +998 99 879 92 14

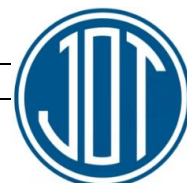
<https://orcid.org/0000-0003-4905-9620>

Maxkamov
Alimjan
Xamdamiyev /
Alimjan
Makhkamov

Tashkent davlat transport
universiteti "Temir yo'ldan
foydalanish ishlarini
boshqarish" kafedrasida
dotsenti, texnika fanlari
bo'yicha falsafa doktori
(PhD), dotsent.
"Temiryo'linfratuzilma" AJ
Personalni tayyorlash
muassasasi huzuridagi,
Kadrlar malakasini oshirish va
qayta tayyorlash o'quv
markazi maslahatchisi
E-mail: dcpk2005@mail.ru
Tel.: +998 93 399 73 36
<https://orcid.org/0009-0007-1843-0331>

Suyunbayev
Shinpolat
Mansuraliyevich /
Shinpolat
Suyunbaev

Tashkent davlat transport
universiteti "Temir yo'ldan
foydalanish ishlarini
boshqarish" kafedrasida
professori, texnika fanlari
doktori, professor
E-mail: shinbolat_84@mail.ru
Tel.: +998 93 510 92 82
<https://orcid.org/0000-0002-4867-8270>



Study of the magnetocaloric effect in magnetic materials

F.F. Khasanov¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper considers the physical basis of the magnetocaloric effect (MCE), the prospects of using magnetic phase transitions for widening the working temperature range, and the design solutions of magnetic refrigeration systems. It is shown that the efficiency of magnetic cooling is governed by the magnitude of the magnetocaloric effect, the frequency of the working cycle, the amount of the working body and the efficiency of heat exchange. The operation of a magnetic refrigerator with a gadolinium-based working body is examined and the prospects of MnAs-based compounds are analysed. Particular attention is paid to the influence of pressure and of the structural contribution on the magnitude of the effect: for MnAs under a pressure of 2.23 kbar an isothermal entropy change of 267 J/(kg·K) is reported, while for an MnAs–PVA composite in a field of 1.2 T the adiabatic temperature change reaches 1.2–1.3 °C against 0.87 °C for the prototype. The results indicate that magnetic materials with pronounced magnetostructural phase transitions are promising for the design of highly efficient magnetic refrigeration systems.

Keywords: magnetocaloric effect, magnetic materials, magnetic cooling, magnetic refrigerator, heat exchange, magnetic phase transition, gadolinium, MnAs, polymer matrix, pressure

Исследование магнетокалорического эффекта в магнитных материалах

Хасанов Ф.Ф.¹ ^a

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены физические основы магнетокалорического эффекта (МКЭ), перспективы применения магнитных фазовых переходов для расширения температурного рабочего диапазона, а также конструктивные решения магнитных холодильных систем. Показано, что эффективность магнитного охлаждения определяется величиной магнетокалорического эффекта, частотой рабочего цикла, количеством рабочего тела и эффективностью теплообмена. Рассмотрены особенности работы магнитного холодильника с рабочим телом на основе гадолиния и проанализированы перспективы применения соединений на основе MnAs. Особое внимание уделено влиянию давления и структурного вклада на величину МКЭ: для MnAs под давлением 2,23 кбар приведено изотермическое изменение энтропии 267 Дж/(кг·К), а для композита MnAs–ПВА в поле 1,2 Тл адиабатическое изменение температуры достигает 1,2–1,3 °C против 0,87 °C у прототипа. Представленные результаты указывают на перспективность использования магнитных материалов с выраженными магнитно-структурными фазовыми переходами для создания высокоэффективных магнитных холодильных систем.

Ключевые слова: магнетокалорический эффект, магнитные материалы, магнитное охлаждение, магнитный холодильник, теплообмен, магнитный фазовый переход, гадолиний, MnAs, полимерная матрица, давление

1. Введение

Для исследования фундаментальных физических свойств веществ во многих случаях необходимы высококачественные монокристаллы, поскольку использование монокристаллических образцов позволяет изучать анизотропию свойств, уменьшать влияние поверхностных эффектов и повышать точность измерений [2, 7]. Особый интерес представляют халькогениды и пниктиды переходных металлов, характеризующиеся широким спектром

функциональных свойств, включая полупроводниковые, магнитные, сверхпроводящие и каталитические характеристики [1, 3]. Эти соединения рассматриваются как перспективные материалы для современной электроники, энергетики и спинтроники. Кроме того, сульфидные соединения входят в состав природных полиметаллических руд, что определяет их прикладное значение [2, 4, 5].

Одним из распространённых методов получения кристаллов подобных соединений является метод раствор-расплава, основанный на медленном

^a <https://orcid.org/0009-0004-6301-9822>



охлаждении многокомпонентного расплава. При классической реализации данного подхода возможно формирование зонально неоднородных кристаллов [4, 7]. Применение стационарного температурного градиента позволяет стабилизировать условия роста, уменьшить изменение активности компонентов расплава и повысить воспроизводимость результатов. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов синтеза высококачественных функциональных материалов с контролируемыми структурными и физическими характеристиками [6, 8].

С развитием методов синтеза высококачественных кристаллов интенсивно развивается исследование магнетокалорических материалов, что обусловлено перспективностью создания магнитных холодильных систем, способных эффективно работать вблизи комнатной температуры [1, 8]. Магнитное охлаждение рассматривается как потенциальная альтернатива традиционным парокомпрессионным установкам благодаря возможности повышения энергетической эффективности и снижению экологической нагрузки. Физической основой данной технологии является магнетокалорический эффект — изменение температуры магнитного материала при его намагничивании и размагничивании в адиабатических условиях [3, 6].

Современные магнитные холодильные системы развиваются от установок со сверхпроводящими магнитами к более компактным конструкциям на основе постоянных магнитов. Одним из ключевых направлений повышения холодопроизводительности является увеличение частоты рабочего цикла, поскольку производительность системы определяется не только величиной МКЭ, но и количеством рабочего материала и эффективностью теплопередачи [5, 7]. При этом объём магнетокалорического материала ограничивается геометрическими размерами магнитной системы, формирующей внешнее магнитное поле. Поэтому увеличение частоты рабочего цикла рассматривается как один из способов повышения охлаждающей мощности без существенного увеличения габаритов установки [8, 9].

Высокочастотная работа магнитного холодильника предъявляет повышенные требования к организации теплообмена. Быстрая передача теплоты между магнетокалорическим материалом и теплоносителем возможна при использовании теплообменников с развитой поверхностью и рациональной геометрией рабочего тела. Перспективными являются многослойные конструкции из тонких параллельных пластин или стержней толщиной порядка 0,1–0,3 мм с небольшими межпластинчатыми зазорами, обеспечивающими интенсивный теплообмен при ограниченных гидродинамических потерях [6, 10].

Дополнительным фактором, влияющим на эффективность магнитного холодильника, является размагничивающее поле, величина которого определяется геометрией магнетокалорического материала. Согласно рассмотренным данным, демагнитизационные эффекты уменьшаются в тонких и удлинённых элементах, ориентированных вдоль направления внешнего магнитного поля, что способствует более эффективному использованию магнитного поля и повышению энергетической эффективности системы [7, 8].

Интерметаллические соединения, рассматриваемые как перспективные магнетокалорические материалы, характеризуются хрупкостью и относительно низкой технологичностью. Это затрудняет изготовление из них теплообменных структур сложной геометрии. Поэтому важное значение приобретает разработка способов получения материалов с контролируемой структурой, обеспечивающей эффективный теплообмен, а также исследование влияния термических и механических воздействий на их структурные и магнетокалорические характеристики [11, 13].

Целью настоящей работы является анализ факторов, определяющих эффективность магнитного охлаждения, — величины магнетокалорического эффекта, температуры магнитного фазового перехода, частоты рабочего цикла, геометрии рабочего тела и условий механического воздействия, — а также оценка перспектив применения соединений на основе MnAs в качестве рабочего тела магнитной холодильной системы [11, 12].

2. Методика исследования

2.1. Физические основы магнитного охлаждения

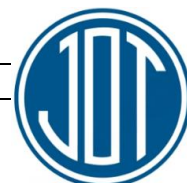
Магнитное охлаждение основано на способности магнитного материала изменять свою температуру и энтропию под воздействием внешнего магнитного поля. По аналогии с процессами сжатия и расширения газа в традиционных холодильных машинах изменение напряжённости магнитного поля вызывает изменение термодинамического состояния магнитного материала. Данное явление называется магнетокалорическим эффектом [4, 9]. Изменение температуры обусловлено перераспределением внутренней энергии между системой магнитных моментов атомов и кристаллической решёткой. Максимальные значения МКЭ наблюдаются в магнитоупорядоченных материалах, в частности в ферромагнетиках и антиферромагнетиках, в области магнитных фазовых переходов — температур Кюри, Нееля и других температур магнитного упорядочения [2, 7, 9].

2.2. Объект и источники анализируемых данных

В качестве объектов анализа рассмотрены две группы материалов: металлический гадолиний как классическое рабочее тело магнитного холодильника комнатного диапазона и соединения на основе арсенида марганца MnAs, обладающие магнитно-структурным фазовым переходом первого рода. Анализ выполнен по опубликованным экспериментальным данным о величине МКЭ, температуре фазового перехода и влиянии гидростатического давления, а также по данным о конструктивных решениях магнитных холодильных систем. Сопоставляемыми величинами являлись изотермическое изменение энтропии ΔS (Дж/(кг·К)), адиабатическое изменение температуры ΔT (°C) и значение приложенного магнитного поля (Тл). Значения приводятся в том виде, в каком они опубликованы в исходных источниках; собственные измерения в настоящей работе не выполнялись.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Конструктивная реализация магнитного холодильника



Рассматриваемая конструкция предусматривает вращение рабочего колеса через рабочий зазор магнита, в котором сосредоточено магнитное поле (рисунок 1). При входе сегмента с гадолинием в область магнитного поля в материале возникает МКЭ, сопровождающийся повышением его температуры. Образовавшаяся теплота отводится теплообменником, охлаждаемым водой. При выходе гадолиния из зоны магнитного поля возникает

МКЭ противоположного знака, вследствие чего материал дополнительно охлаждается и отводит теплоту от второго потока воды. Этот поток используется для охлаждения полезной нагрузки магнитного холодильника. Такая конструкция характеризуется компактностью и отсутствием механических вибраций, связанных с традиционным парокомпрессионным циклом [9, 11].

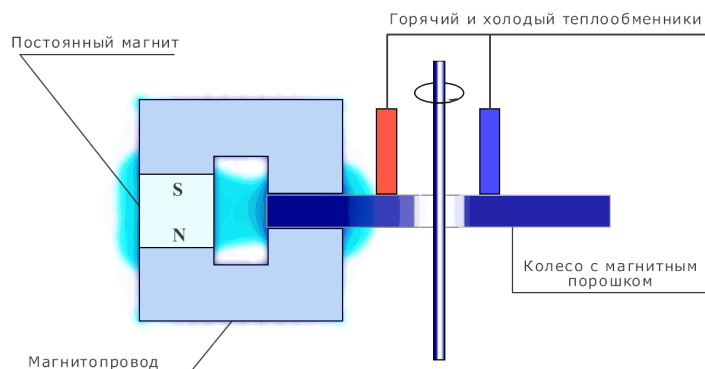


Рис. 1. Схема работы магнитного холодильника

По приведённым в исходном материале данным, магнитное охлаждение может обеспечивать энергетическую эффективность на 20–30 % выше по сравнению с парокомпрессионным охлаждением. Дополнительным преимуществом является отсутствие необходимости использования озоноразрушающих и парниковых хладагентов, что повышает экологическую привлекательность технологии [13].

3.2. Магнетокалорические свойства MnAs

Сплавы на основе арсенидов переходных металлов, в частности арсенид марганца (MnAs), представляют интерес вследствие наличия магнитно-структурного фазового перехода первого рода и высокой величины

магнетокалорического эффекта. В рассматриваемых исследованиях для MnAs под давлением 2,23 кбар при комнатной температуре приведено значение изотермического изменения энтропии 267 Дж/(кг·К) (рисунок 4).

Для композита на основе MnAs в полимерной матрице ПВА, выдержанного в течение суток под давлением 10 кбар, в исходных данных приведены максимальные изменения температуры $\Delta T = 1,2$ °C при нагреве и $\Delta T = 1,3$ °C при охлаждении (рисунок 2). При изменении магнитного поля до 1,2 Тл эти значения превышают указанное в работе значение для прототипа — 0,87 °C [7, 12]

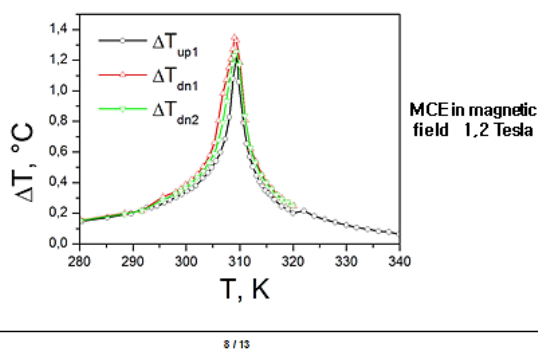


Рис. 2. Магнетокалорический эффект композита на основе MnAs в полимерной матрице ПВА при магнитном поле 1,2 Тл

При температурном переходе без приложения давления величина изменения энтропии, согласно исходным данным, составляет около 40 Дж/(кг·К). Предполагается, что увеличение структурного вклада в МКЭ MnAs может привести к росту изменения

температуры с $\Delta T \approx 18$ °C до диапазона 50–60 °C, что создаёт предпосылки для разработки высокоэффективных магнитных холодильных систем [10].

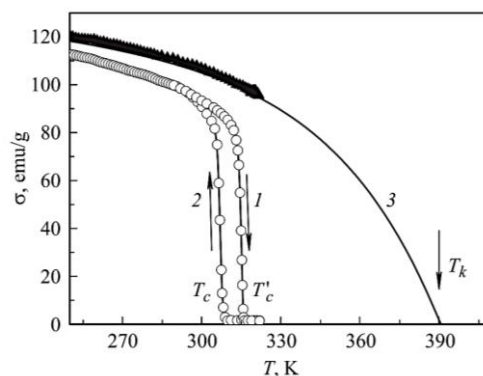
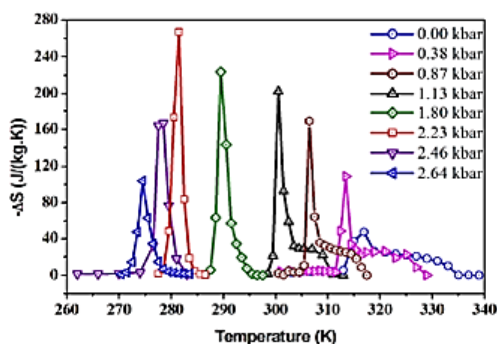


Рис. 3. Температурные зависимости удельной намагниченности вдоль ОЛН ($H \perp c$) для монокристалла арсенида марганца в магнитном поле $H = 10$ кЭ при нагреве (1) и охлаждении (2), а также в поле $H = 140$ кЭ при нагреве (3)

Приведённые зависимости подтверждают перспективность управления магнетокалорическим откликом MnAs посредством изменения внешних условий. В частности, повышение структурного вклада рассматривается как один из путей увеличения

изменения температуры и повышения эффективности магнитного холодильного цикла. Сопоставление данных для нормальных условий и для условий приложенного гидростатического давления приведено на рисунке 4.



MCE for MnAs under pressure much higher than for MnAs in normal condition Plan is to realize pressure in MnAs composites

11 / 13

Рис. 4. Магнетокалорический эффект MnAs под давлением и в нормальных условиях

3.3. Обсуждение и ограничения

Сопоставление рассмотренных данных показывает, что эффективность магнитного охлаждения определяется не одним параметром, а совокупностью взаимосвязанных факторов: величиной магнетокалорического эффекта, положением температуры магнитного фазового перехода относительно рабочего диапазона, частотой рабочего цикла, геометрией рабочего тела, интенсивностью теплообмена и условиями механического воздействия. Приложение гидростатического давления смещает температуру перехода и увеличивает структурный вклад в эффект, что делает его дополнительным управляющим параметром наряду с составом и магнитным полем.

Ограничения выполненного анализа состоят в следующем. Во-первых, приводимые значения заимствованы из опубликованных источников и получены в различных экспериментальных условиях, вследствие чего их прямое сопоставление имеет ограниченную корректность. Во-вторых, оценка возможного роста ΔT до 50–60 °C носит прогнозный характер и требует экспериментальной проверки. В-

третьих, влияние циклирования поля и давления на обратимость эффекта в рамках настоящей работы не рассматривалось, хотя именно циклическая величина эффекта определяет пригодность материала для устройства.

4. Заключение

1. Эффективность магнитного охлаждения определяется совокупностью взаимосвязанных факторов: величиной магнетокалорического эффекта, температурой магнитного фазового перехода, частотой рабочего цикла, геометрией рабочего тела, интенсивностью теплообмена и условиями механического воздействия.

2. Конструкция магнитного холодильника с вращающимся рабочим колесом и рабочим телом на основе гадолиния обеспечивает компактность и отсутствие механических вибраций, характерных для пароконпресссионного цикла; по приведённым данным энергетическая эффективность такой схемы на 20–30 % выше.



3. Для MnAs в рассмотренных источниках отмечены значительные величины магнетокалорического эффекта — до 267 Дж/(кг·К) под давлением 2,23 кбар — и возможность усиления структурного вклада при воздействии давления; для композита MnAs–ПВА при поле 1,2 Тл приведены значения $\Delta T = 1,2\text{--}1,3$ °C, превышающие значение прототипа 0,87 °C.

4. Увеличение изменения температуры до диапазона 50–60 °C за счёт роста структурного вклада рассматривается как перспективное направление для создания высокоэффективного магнитного холодильника; данная оценка требует экспериментального подтверждения.

5. Дальнейшее развитие технологии требует комплексной оптимизации состава и структуры магнитных материалов, геометрии теплообменных элементов и параметров рабочего цикла, а также исследования обратимости эффекта при многократном циклировании.

Использованная литература / References

- [1] Gschneidner K.A. Jr., Pecharsky V.K. Magnetocaloric materials. *Annual Review of Materials Science*. 2000;30:387–429.
- [2] Phan M.-H., Yu S.-C. Review of the magnetocaloric effect in manganite materials. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2007;308:325–340.
- [3] Бердиев У.Т., Хасанов Ф.Ф., Каршиев К.Т., Сулаймонов У.Б., Митюк В.И. Исследование магнетокалорического эффекта в манганитах. Материалы международной научно-технической конференции, 15–16 мая 2025 г. Минск: БНТУ, 2025.
- [4] Бердиев У.Т., Хасанов Ф.Ф., Авазов Б.К., Кутбитдинов О.М. Магнитоструктурные фазовые переходы в арсениде марганца. *Journal of Transport*. 2025;2(3):79–82.
- [5] Хасанов Ф.Ф., Кутбитдинов О.М., Бердиев У.Н. Исследование магнетокалорического эффекта металлов. *Journal of Transport*. 2025;2(3):76–78.
- [6] Berdiyev U.T., Suloymonov O'B., Hasanov F.F. Marganets pniktidlari asosidagi magnetokalorik materiallar. *Journal of Transport*. 2026;3(1):147–149.

[7] Phan M.H., Tian S.B., Yu S.C., Ulyanov A.N. Magnetic and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.7}\text{Tb}_{0.3}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ compounds. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2003;256:306–310. [состав и индексы уточнить по оригиналу]

[8] Li Z.Q., Liu H., Liu X.D., Wu P., Bai H.L., Sun C.Q., Jiang E.Y. Competition between the double exchange and charge ordering interactions in bandwidth-controlled manganites. *Physica B*. 2004;351:114–120.

[9] Berdiyev U., Berdiyev U., Toshpulatova M. Problems and tasks of creating energy-saving electric machines. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2432:020002.

[10] Berdiyev U., Demedenko O., Ashurov M., Hasanov F.F., Sulaymanov U.B. Optimization of the method of oxide coating of metallic iron powder particles. *E3S Web of Conferences*. 2023;383:04039.

[11] Ebert H., Ködderitzsch D., Minár J. Calculating condensed matter properties using the KKR-Green's function method — recent developments and applications. *Reports on Progress in Physics*. 2011;74:096501.

[12] Никитин С.А., Овченкова Ю.А., Блинова М.Е., Терёшина И.С. Магнитокалорический эффект в соединениях $\text{GdMn}_{1-x}\text{T}_x\text{Si}$ ($T = \text{Ti, Fe, Co}$). Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2022;(4):47–53.

[13] Berdiyev U.T., Vecher A.K., Khasanov F.F. Investigation of the frequency characteristics of composite iron powders with insulating oxide coatings. *Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering (CONMECHYDRO 2021)*, Tashkent, Uzbekistan, 1–3 April 2021.

Информация об авторах/ Information about the authors

Хасанов	Ташкентский государственный
Фозил /	транспортный университет, PhD,
Fozil	доцент
Khasanov	E-mail: fozilhasanov777@gmail.com
	https://orcid.org/0009-0004-6301-9822



The magnetocaloric effect as a basis for energy-efficient magnetic refrigeration

F.F. Khasanov¹ 

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The paper presents a systematic thermodynamic description of the magnetocaloric effect as the physical basis of energy-efficient magnetic refrigeration operating near room temperature. The relevance of the direction is determined by the drawbacks of vapour-compression systems, primarily the risk of refrigerant leakage with the associated depletion of the ozone layer and the greenhouse effect. Starting from the decomposition of the total entropy of a magnetocaloric material into magnetic, lattice and electronic contributions, expressions are derived for the adiabatic temperature change and for the isothermal change of the magnetic entropy by means of the Maxwell relation; the applicability of the entropy decomposition is shown to be restricted to second-order phase transitions. The Weiss molecular-field model is used for the quantitative description of ferromagnetism. It is shown that the magnitude of the effect is proportional to the temperature derivative of the magnetisation and inversely proportional to the heat capacity, so that the largest values are attained near the magnetic ordering temperatures. On this basis the requirements imposed on the working body of a magnetic refrigerator are formulated: a magnetic ordering temperature close to the working range, a large temperature derivative of the magnetisation, a low heat capacity and a small magnetic hysteresis.

Keywords: magnetocaloric effect, magnetic refrigeration, adiabatic temperature change, isothermal entropy change, Maxwell relation, Weiss molecular field, magnetic phase transition, energy efficiency, refrigerants

Магнитокалорический эффект как основа энергоэффективного магнитного охлаждения

Хасанов Ф.Ф.¹ 

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В работе изложено термодинамическое описание магнитокалорического эффекта как физической основы энергоэффективного магнитного охлаждения в области комнатных температур. Актуальность направления определяется недостатками парокомпрессионных систем, прежде всего риском утечки хладагентов с сопутствующим разрушением озонового слоя и усилением парникового эффекта. Исходя из разложения полной энтропии магнитокалорического материала на магнитную, решёточную и электронную составляющие, с использованием соотношения Максвелла получены выражения для адиабатического изменения температуры и изотермического изменения магнитной энтропии; показано, что разложение энтропии строго применимо лишь для фазовых переходов второго рода. Для количественного описания ферромагнетизма привлечена модель молекулярного поля Вейсса. Показано, что величина эффекта пропорциональна производной намагниченности по температуре и обратно пропорциональна теплоёмкости, вследствие чего наибольшие значения достигаются вблизи температур магнитного упорядочения. На этой основе сформулированы требования к рабочему телу магнитного холодильника: температура магнитного упорядочения вблизи рабочего диапазона, высокая производная намагниченности по температуре, низкая теплоёмкость и малый магнитный гистерезис.

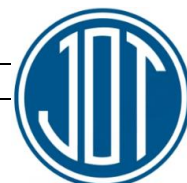
Ключевые слова: магнитокалорический эффект, магнитное охлаждение, адиабатическое изменение температуры, изотермическое изменение энтропии, соотношение Максвелла, молекулярное поле Вейсса, магнитный фазовый переход, энергоэффективность, хладагенты

1. Введение

На сегодняшний день создание компактных, экологически безопасных, энергоэффективных и

надёжных холодильных устройств, функционирующих в области комнатных температур, представляет собой

 <https://orcid.org/0009-0004-6301-9822>



одну из наиболее актуальных научно-технических задач. Актуальность данного направления определяется рядом существенных недостатков, присущих традиционным охлаждающим системам. В частности, эксплуатация современных холодильных установок сопряжена с риском утечки рабочих хладагентов, что приводит к таким экологическим последствиям, как разрушение озонового слоя и усиление парникового эффекта [1, 4]. В числе альтернативных подходов к построению холодильной техники всё большее внимание научного сообщества привлекает технология магнитного охлаждения [1–3].

Достижение высокого КПД магнитных рефрижераторов требует создания эффективных магнитокалорических материалов, пригодных для работы в области комнатных температур. Такие материалы должны характеризоваться малым магнитным гистерезисом, выраженным магнитокалорическим эффектом, высокой намагниченностью и приемлемыми технологическими параметрами [3, 4]. Повышенный интерес к изучению магнитокалорического эффекта обусловлен потребностью в материалах с высокими значениями МКЭ, способных выполнять функцию рабочего тела в устройствах магнитного охлаждения; применение подобных материалов открывает возможность полного отказа от экологически вредных хладагентов [3, 5].

Исследование магнитных и магнитокалорических характеристик даёт дополнительную информацию о природе магнитоупорядоченного состояния вещества и о взаимосвязи магнитных и тепловых свойств [2, 5]. Установлено, что максимальные значения МКЭ наблюдаются вблизи фазовых переходов, что обуславливает особый интерес к изучению именно этой области. Таким образом, исследование магнитокалорического эффекта неразрывно связано с развитием физики фазовых переходов и критических явлений [3, 6].

Целью настоящей работы является систематическое изложение термодинамического описания магнитокалорического эффекта — от определения эффекта и разложения энтропии по подсистемам до выражений для адиабатического изменения

температуры и изотермического изменения энтропии — и сопоставление получаемых соотношений с требованиями, предъявляемыми к рабочему телу магнитного холодильника комнатного диапазона.

2. Методика исследования

2.1. Определение и физическая природа эффекта

Явление магнитного охлаждения основано на способности магнитного материала изменять собственную температуру под действием внешнего магнитного поля. Изменение энтропии в изотермическом процессе либо изменение температуры в адиабатическом процессе, происходящее при изменении магнитного поля, принято называть магнитокалорическим эффектом (МКЭ) [4].

Технология магнитного охлаждения при комнатной температуре, основанная на магнитокалорическом эффекте, является относительно новым научно-техническим направлением. Само явление МКЭ было впервые зафиксировано Варбургом: в 1881 году им было отмечено повышение температуры образца железа при внесении его в магнитное поле и последующее понижение температуры при выведении образца из поля [3, 7, 10]. Таким образом, магнитокалорический эффект представляет собой фундаментальное свойство магнитных материалов, проявляющееся в изменении их температуры под действием приложенного магнитного поля; материалы, обладающие данным свойством, получили название магнитокалорических. МКЭ присущ всем переходным металлам и лантаноидам, способным проявлять ферромагнитные свойства [3, 4, 8]. При снятии магнитного поля магнитные моменты приобретают хаотическую ориентацию, вследствие чего ферромагнетик охлаждается.

Магнитокалорический эффект представляет собой внутреннее свойство магнитных материалов, заключающееся в поглощении либо выделении тепловой энергии под воздействием внешнего магнитного поля [6, 10]. Данное явление сопровождается обратимым нагревом или охлаждением материала, как показано на рисунке 1.

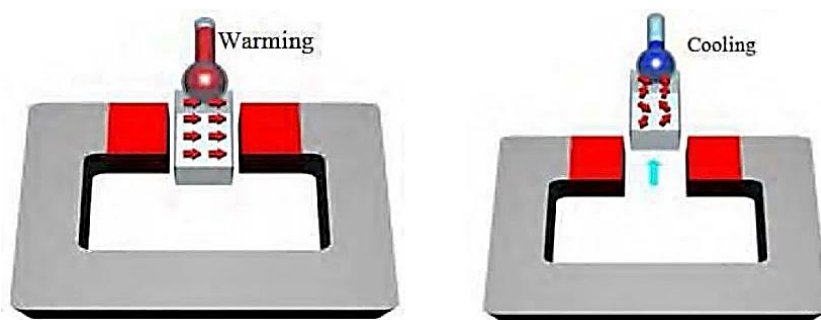


Рис. 1. Магнитокалорический эффект

2.2. Термодинамические соотношения

Абсолютная энтропия магнитокалорического материала, будучи функцией температуры и магнитной индукции, может быть представлена как сумма магнитной составляющей, решёточной составляющей и вклада энтропии электронов проводимости, величиной которого обычно можно пренебречь [6, 7, 9].

Соответствующее выражение имеет вид:

$$S(T, B) = S_m + S_l \quad (1)$$

где S_m и S_l — магнитная и решёточная составляющие энтропии соответственно, T (К) — температура, B (Тл) — магнитная индукция.

Представленное в (1) разложение энтропии справедливо только для материалов, испытывающих

фазовый переход второго рода, для которых характерно плавное изменение намагниченности с температурой. Для фазовых переходов первого рода, сопровождающихся резким изменением намагниченности вблизи температуры перехода, подобное разложение оказывается неточным [6, 9]. В большинстве практических случаев достаточно оперировать полной энтропией, дифференциальная форма которой записывается как:

$$dS(T, B) = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_B dT + \left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T dB \quad (2)$$

Удельная теплоёмкость C_B (Дж·м⁻³·К⁻¹) материала определяется соотношением:

$$C_B = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_B T \quad (3)$$

откуда следует:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_B = \frac{C_B}{T} \quad (4)$$

С учётом выражений (2) и (4) можно записать:

$$dS(T, B) = \frac{C_B}{T} dT + \left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T dB \quad (5)$$

Для адиабатического процесса ($\Delta S = 0$) изменение температуры, с использованием соотношения Максвелла [6, 9]:

$$dT = \frac{T}{C_B} \left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T dB \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial B}\right)_T + \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_B \quad (7)$$

где M (А·м⁻¹) — намагниченность, можно записать:

$$dT = -\frac{T}{C_B} \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_B dB \quad (8)$$

Величину магнитокалорического эффекта (адиабатическое изменение температуры) можно представить в виде:

$$\Delta T_{ad} = -\int_{B_i}^{B_f} \frac{T}{C_B} \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_B dB = MCE \quad (9)$$

В случае изотермического процесса температура образца в ходе намагничивания остаётся неизменной, а изменение энтропии описывается выражением:

$$dS(T, B) = (\partial S / \partial B)_T dB \quad (10)$$

Используя соотношение Максвелла (7), изменение магнитной энтропии можно представить как:

$$\Delta T = \int_{B_i}^{B_f} \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_B dB \quad (11)$$

при этом выделяемое тепло переходит в тепловые колебания кристаллической решётки [7, 9].

2.3. Модель молекулярного поля Вейсса

Теоретическое описание МКЭ базируется на молекулярной теории поля (модели Вейсса) и термодинамических соотношениях. Для количественного описания ферромагнетизма Вейсс предложил феноменологическую модель, согласно которой действие внешнего поля B дополняется эффектом молекулярного поля [6, 8, 10], пропорционального объёмной намагниченности:

$$B_v = \lambda \mu_0 M \quad (12)$$

Соответственно, энергия магнитного момента записывается как:

$$E = -\mu(B + B_v) \quad (13)$$

3. Результаты и обсуждение

3.1. Преимущества магнитного охлаждения перед пароконпресссионным

Итоговой целью развития технологии магнитного охлаждения является создание бытового холодильного оборудования нового поколения. По сравнению с

традиционными компрессорными системами, магнитное охлаждение потенциально позволяет снизить как эксплуатационные, так и обслуживающие расходы. Отказ от компрессора устраняет связанные с ним высокие капитальные затраты и энергопотребление, что делает магнитное охлаждение экономически конкурентоспособной альтернативой компрессорным технологиям.

К основным преимуществам магнитного охлаждения перед компрессорным можно отнести: экологическую чистоту — отсутствие выбросов вредных и токсичных газов [1, 4]; бесшумность работы за счёт отсутствия компрессора [2, 3]; более высокую энергетическую эффективность; конструктивную простоту устройств; низкие затраты на техническое обслуживание, а также работу при низком (атмосферном) давлении, что особенно ценно для систем автомобильного кондиционирования и холодильного оборудования [4, 6].

3.2. Требования к магнитокалорическим материалам

Из приведённых соотношений следует, что величина эффекта пропорциональна производной намагниченности по температуре и обратно пропорциональна теплоёмкости материала. Отсюда вытекают требования к рабочему телу: температура магнитного упорядочения должна лежать вблизи рабочего диапазона устройства, производная $(\partial M / \partial T)_B$ в этой области должна быть максимальной, а теплоёмкость — по возможности низкой. Дополнительными требованиями являются малый магнитный гистерезис, обеспечивающий обратимость эффекта при циклировании, высокая намагниченность насыщения, приемлемая теплопроводность и технологичность [3, 4].

В магнитокалорических материалах приложение либо снятие внешнего магнитного поля сопровождается заметным изменением энтропии. Величина МКЭ для конкретного материала определяется исключительно его исходной температурой и напряжённостью магнитного поля, а сам эффект может быть охарактеризован как через изотермическое изменение энтропии, так и через адиабатическое изменение температуры. Это обстоятельство позволяет использовать обе величины как взаимодополняющие характеристики при отборе материалов, однако сопоставлять их следует с учётом того, каким методом — прямым или косвенным — они были получены.

4. Заключение

1. Магнитокалорический эффект является внутренним свойством магнитных материалов и проявляется в изменении их температуры при адиабатическом изменении внешнего магнитного поля либо в изменении энтропии при изотермическом процессе.

2. Термодинамическое описание эффекта, основанное на разложении энтропии по подсистемам и на соотношении Максвелла, приводит к выражениям (9) и (11) для адиабатического изменения температуры и изотермического изменения магнитной энтропии; разложение энтропии на слагаемые строго применимо лишь для фазовых переходов второго рода.



3. Величина эффекта пропорциональна производной намагниченности по температуре и обратно пропорциональна теплоёмкости, вследствие чего максимальные значения МКЭ достигаются вблизи температур магнитного упорядочения.

4. Магнитное охлаждение обладает рядом преимуществ перед парокомпрессионным — экологическая чистота, бесшумность, конструктивная простота, работа при атмосферном давлении, — что определяет перспективность его применения, в том числе в системах автомобильного кондиционирования и холодильного оборудования.

5. Дальнейшее развитие направления связано с поиском материалов, сочетающих температуру магнитного упорядочения вблизи комнатной, высокую производную намагниченности по температуре, низкую теплоёмкость и малый гистерезис.

Использованная литература / References

[1] Gschneidner K.A. The magnetocaloric effect, magnetic refrigeration and ductile intermetallic compounds. *Acta Materialia*. 2009;57:18–28. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.08.048>

[2] Mitsiuk V.I., Mashirov A.V., Koledov V.V., Valkov V.I., Golovchan A.V., Kovalev O.E., Todris B.M., Ari-Gur P. Magnetic-field-induced transitions and the inverse magnetocaloric effect at liquid helium temperatures in the $Mn_{1-x}Co_xNiGe$ system ($0.15 \leq x < 0.80$). *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2023;588:171355.

[3] Mityuk V.I., Rimskii G.S., Val'kov V.I., Golovchan A.V., Mashirov A.V., Koledov V.V. Low temperature features of the magnetic and magnetocaloric properties of the $Mn_{1-x}Co_xNiGe$ system ($0.05 \leq x \leq 0.4$). *Physics of Metals and Metallography*. 2022;123:386–391.

[4] Бердиев У.Т., Хасанов Ф.Ф., Каршиев К.Т., Сулаймонов У.Б., Митюк В.И. Исследование магнетокалорического эффекта в манганитах. Вода. Газ. Тепло: материалы международной научно-технической конференции, 15–16 мая 2025 г. Минск: БНТУ, 2025.

[5] Mitsiuk V.I., Zhaludkevich A.L., Val'kov V.I., Golovchan A.V., Mashirov A.V., Anikeev S.G., Pikula T., Tkachenka T.M. Magnetocaloric effect of Zn-containing manganese pnictides. *Physics of Metals and Metallography*. 2024;125:1838–1844.

[6] Mitsiuk V.I., Gurbanovich A.V., Gurbanovich An.V., Tkachenka T.M., Valkov V.I., Golovchan A.V., Mashirov A., Surowiec Z. Magnetic and magnetocaloric characteristics of the $Mn_{1-x}Cu_{0.1}Sb$ alloy. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2023;68:431–435.

[7] Mitsiuk V.I., Govor G.A., Budzyński M. Reversible phase transitions and magnetocaloric effect in $MnAs$, $MnAs_{0.99}Po_{0.01}$ and $MnAs_{0.98}Po_{0.02}$ single crystals. *Inorganic Materials*. 2013;49:14–17.

[8] Govor G.A., Larin A.O., Mitsiuk V.I., Rimskiy G.S., Tkachenka T.M. Magnetocaloric properties of the single crystal $Mn_{0.99}Fe_{0.01}As$. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics Series*. 2019;55:118–124.

[9] Govor G.A., Mitsiuk V.I., Nikitin S.A., Pankratov N.Yu., Smarzhenskaya A.I. Magnetostructural phase transitions and magnetocaloric effect in $Mn(As,P)$ compounds and their composites. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019;801:428–437.

[10] Berdiyev U., Demedenko O., Ashurov M., Hasanov F.F., Sulaymonov U.B. Optimization of the method of oxide coating of metallic iron powder particles. *E3S Web of Conferences*. 2023;383:04039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304039>.

Информация об авторах/ Information about the authors

Хасанов
Фозил /
Fozil
Khasanov

Ташкентский государственный
транспортный университет,
PhD, доцент
E-mail:

fozilhasanov777@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-6301-9822>



IR spectroscopic study of the formation of functional groups on the surface of polymer materials for packaging under the influence of corona discharge

D.R. Safaeva¹^a, Sh.B. Tashmammedova¹^b, D.T. Zairov¹^c

¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article presents the results of an investigation of the surface properties of polypropylene and polyethylene polymer films before and after corona discharge treatment using infrared (IR) spectroscopy. Absorption bands characteristic of the main functional groups of the polymers were identified. After corona discharge treatment, the spectra of BOPP and PE films exhibited new absorption bands in the 1700–1750 cm⁻¹ region, indicating the formation of oxygen-containing functional groups on the polymer surfaces, particularly carbonyl (C=O) groups. The results demonstrate that corona discharge treatment increases the polarity and surface energy of the polymers, as well as improving their wettability and adhesion properties. The findings provide a basis for substantiating the effectiveness of corona treatment of polymer films in enhancing their adhesion to printing inks and improving print quality.

Keywords:

polymer film, polypropylene, polyethylene, BOPP, IR spectroscopy, corona discharge, surface energy, functional group, adhesion, printing ink

Qadoqlar uchun polimer materiallar yuzasida tojli razryad ta'sirida funksional guruhlarining shakllanishini iq-spektroskopik tadqiqi

Safayeva D.R.¹^a, Tashmammedova Sh.B.¹^b, Zairov D.T.¹^c

¹Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, Tashkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Maqolada polipropilen va polietilen polimer plyonkalarining tojli razryad bilan ishlov berishdan oldingi va keyingi sirt xususiyatlarini infraqizil (IQ) spektroskopiya usulida tadqiq qilish natijalari keltirilgan. Polimerlarning asosiy funksional guruhlariga xos yutilish polosalari aniqlandi. Tojli razryad bilan ishlov berilgandan keyin BOPP va PE plyonkalar spektrlarida 1700–1750 sm⁻¹ sohada yangi yutilish polosalarining paydo bo'lishi polimer sirtida kislorod saqllovchi funksional guruhlar, xususan, karbonil (C=O) guruhlarini shakllanganligini ko'rsatdi. Natijalar tojli razryad ta'sirida polimer sirtining qutbliligi va sirt energiyasi ortishi, namlanish hamda adgezion xususiyatlar yaxshilanishini ko'rsatdi. Olingan natijalar polimer plyonkalarining bosma bo'yoqlari bilan adgezion o'zaro ta'sirini oshirish va bosma sifatini yaxshilashda tojli razryadli ishlov berishning samaradorligini asoslash imkonini beradi.

Kalit so'zlar:

polimer plyonka, polipropilen, polietilen, BOPP, IQ-spektroskopiya, tojli razryad, sirt energiyasi, funksional guruh, adgeziya, bosma bo'yoq

1. Kirish

Polimer materiallar zamonaviy bosma va qadoqlash sanoatida keng qo'llaniladigan materiallardan biri bo'lib, ularning funksional va ekspluatatsion xususiyatlari nafaqat polimering hajmiy tuzilishi, balki sirt qatlamining fizik-kimyoviy holati bilan ham belgilanadi. Ayniqsa, polietilen (PE) va polipropilen (PP), jumladan, biaksial yo'naltirilgan polipropilen (BOPP) plyonkalar yuqori mexanik mustahkamligi, kimyoviy barqarorligi, namlikka chidamliligi va texnologik qulayligi tufayli qadoqlash materiallari hamda bosma mahsulotlar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi.

Shu bilan birga, polietilen va polipropilen kabi polimerlarning sirt energiyasi nisbatan past bo'lganligi

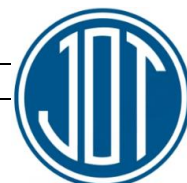
sababli ularni bosma bo'yoqlari bilan namlash va mustahkam adgezion bog'lanish hosil qilishda muayyan texnologik qiyinchiliklar yuzaga keladi. Polimer sirtining past qutbliligi bo'yoqning sirtga bir tekis tarqalishi, namlanishi va mustahkam birikishini cheklaydi. Shu munosabat bilan polimer plyonkalar sirtini bosma jarayoniga tayyorlash va uning adgezion xususiyatlarini yaxshilash muhim ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi.

Polimer sirtini modifikatsiyalashning samarali usullaridan biri tojli razryad bilan ishlov berish hisoblanadi. Ushbu jarayon ta'sirida polimer sirtida fizik va kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'lib, sirt energiyasi va qutblilikning ortishi, namlanish qobiliyatining yaxshilanishi hamda yangi funksional guruhlarining shakllanishi kuzatiladi. Natijada polimer sirtining bosma bo'yoqlari bilan adgezion o'zaro

^a <https://orcid.org/0009-0002-6241-0577>

^b <https://orcid.org/0009-0006-9177-5945>

^c <https://orcid.org/0009-0002-0143-1553>



ta'siri kuchayadi. Polimer materiallarning sirt va hajmiy tuzilishini, makromolekulyar zanjirlardagi funksional guruhlarni hamda tashqi ta'sirlar natijasida yuzaga keladigan struktur o'zgarishlarni aniqlashda infraqizil (IQ) ahisoblanadi. IQ-spektroskopiya yordamida polimer tarkibidagi funksional guruhlarga xos yutilish polosalarini aniqlash va spektral xarakteristikalaridagi o'zgarishlar asosida materialning kimyoviy tuzilishida sodir bo'lgan o'zgarishlarni baholash mumkin [1]. Shu nuqtai nazardan, tojli razryad bilan ishlov berilgan polimer plyonkalarining sirt qatlamida yuzaga keladigan kimyoviy o'zgarishlarni IQ-spektroskopiya usulida o'rganish mazkur ishning dolzarbligini belgilaydi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Polimer materiallarni sirt modifikatsiyalash va ularning adgezion xususiyatlarini yaxshilash masalalari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda tojli razryadli ishlov berish usuliga alohida e'tibor qaratilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, yuqori kuchlanishli tojli razryad ta'sirida polimer sirtida erkin radikal markazlar hosil bo'lib, ular atmosfera tarkibidagi kislorod va namlik bilan o'zaro ta'sirga kirishadi. Bu jarayon natijasida sirtida kislorod saqllovchi qutbli funksional guruhlarning shakllanishi [2–4].

Polipropilen va polietilen plyonkalarining sirt xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan ilmiy ishlar tahlili tojli razryad ta'sirida sirt energiyasining ortishi va kontakt burchagining kamayishini ko'rsatgan. Bunday o'zgarishlar polimer sirtining namlanish qobiliyati yaxshilanishi bilan bog'liq bo'lib, keyingi bosqichda bo'yoq, lak va boshqa qoplama materiallarining sirtga adgeziyasini oshirish imkonini beradi.

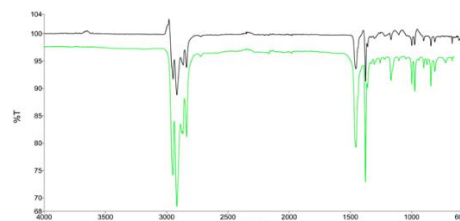
IQ-spektroskopiya polimerlarning kimyoviy tarkibi va funksional guruhlarni identifikatsiya qilishda keng qo'llaniladigan analitik usullardan biri hisoblanadi. Mazkur usulda molekularlarning infraqizil nurlanishni yutishi ulardagi kimyoviy bog'larning valent va deformatsion tebranishlari bilan bog'liq. Shu sababli ma'lum to'lqin sonlaridagi yutilish polosalari polimer tarkibidagi C–H, C–C, C=C, C=O va O–H kabi funksional guruhlarni aniqlash imkonini beradi. Polipropilenning IQ-spektrida 3000–2800 cm^{-1} sohada C–H bog'larining valent tebranishlari, 1500–1300 cm^{-1} sohada esa C–H va C–C bog'larining deformatsion tebranishlari xarakterli hisoblanadi. Polimer sirti oksidlanganda esa 1700–1750 cm^{-1} sohada C=O bog'iga xos yangi yutilish polosalarining paydo bo'lishi kuzatilishi mumkin. Mazkur spektral o'zgarishlar polimer sirtida kislorod saqllovchi funksional guruhlarning shakllanganligidan dalolat beradi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, tojli razryad bilan ishlov berishning polimer sirtidagi funksional guruhlarning tarkibiga ta'siri yetarlicha o'rganilgan bo'lsa-da, BOPP va PE plyonkalarda spektral o'zgarishlarning bosma bo'yoqlari bilan adgezion o'zaro ta'sirga ta'sirini kompleks baholash masalasi qo'shimcha tadqiqotlarni talab etadi. Shu sababli mazkur tadqiqotda BOPP va PE plyonkalarining tojli razryaddan keyingi IQ-spektrlarini o'rganish orqali sirtida shakllangan funksional guruhlarni aniqlash va ushbu o'zgarishlarni polimerning adgezion xususiyatlari bilan bog'lashga alohida e'tibor qaratildi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi tojli razryad ta'sirida ishlov berilgan polimer plyonkalarining IQ-spektroskopik xususiyatlarini o'rganish, makromolekulyar zanjirlarning

yo'nalganligi va uzunligi, shuningdek, polimer sirtida hosil bo'luvchi funksional guruhlarning spektral yutilish intensivligiga ta'sirini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot obekti sifatida qalinligi 20 mkm bo'lgan biaksial yo'naltirilgan polipropilen (BOPP) va polietilen (PE) polimer plyonkalaridan foydalanildi. Namunalarning IQ-spektroskopik tahlili PerkinElmer Spectrum Two spektrofotometrida 4200–600 cm^{-1} to'lqin sonlari diapazonida amalga oshirildi. Olingan eksperimental spektrlar Aldrich-IChem IQ-spektrlar kutubxonasi ma'lumotlari bilan taqqoslanib, polimerlarning funksional guruhlari va ularga mos yutilish sohalari identifikatsiya qilindi (1-rasm).

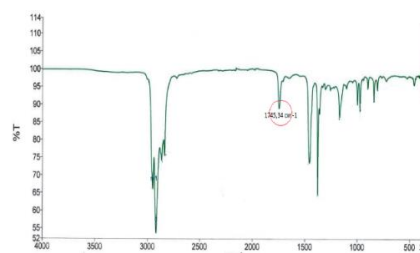


1-rasm. 1–BOPP ning tojli razryadli ishlov berigidan oldingi IQ-spektri; 2–Aldrich-IChem IQ-spektr kutubxona baza dasturidagi spektri

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, tojli razryad bilan ishlov berilmagan BOPP plyonkaning IQ-spektri polipropilenga xos bo'lgan yutilish polosalari bilan tavsiflanadi (1-rasm). Xususan, 2949–2918 cm^{-1} sohada to'yingan C–H bog'larining simmetrik valent tebranishlari, 2867–2838 cm^{-1} sohada esa C–H bog'larining asimmetrik valent tebranishlariga mos yutilish polosalari qayd etildi. 1456–1375 cm^{-1} diapazonida C–C va C–H bog'lariga xos deformatsion va valent tebranishlar kuzatildi. Shuningdek, 1167, 997, 972 va 840 cm^{-1} sohalarda polipropilen makromolekulalaridagi C–H va C–C bog'lariga xos tebranishlar aniqlandi.

Tojli razryad bilan ishlov berilgan polimer plyonkalarining IQ-spektrlarida ishlov berilmagan namunalarga nisbatan yangi yutilish polosalarining paydo bo'lishi va ayrim polosalar intensivligining o'zgarishi kuzatildi. Ayniqsa, 1700–1750 cm^{-1} sohada yangi intensiv yutilish polosasining shakllanishi polimer sirtida kislorod saqllovchi funksional guruhlarning hosil bo'lganligini ko'rsatadi. BOPP plyonkada 1745,34 cm^{-1} , PE plyonkada esa 1744,78 cm^{-1} sohalarda kuzatilgan yutilish minimumlari C=O karbonil guruhlarga xos tebranishlar bilan bog'liq.

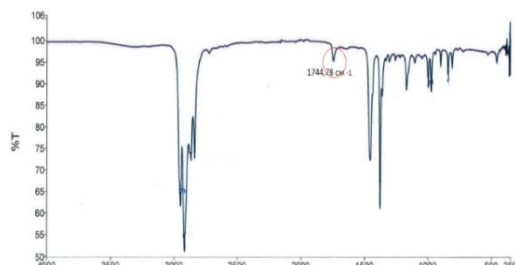
Shu nuqtai nazardan, tojli razryad ta'sirida polimer sirtining kimyoviy tarkibida ma'lum darajada oksidlanish jarayoni sodir bo'lishi va natijada kislorod saqllovchi funksional guruhlarning miqdorining ortishi haqida xulosa qilish mumkin. Bunday o'zgarishlar polimer sirtining qutbliligini oshiradi hamda uning adgezion xususiyatlarini yaxshilaydi.



2-rasm. Tajribaviy BOPP polimer plyonkaning IQ-spektroskopik tahlili



Polietilen plyonkaning IQ-spektroskopik tahlilida ham tojli razryadli ishlovdan keyin spektral o'zgarishlar aniqlandi (2-rasm). PE uchun xarakterli bo'lgan C–H bog'lariga tegishli yutilish polosalari bilan bir qatorda ishlov berilgan namuna spektrida kislorod saqllovchi funksional guruhlariga xos qo'shimcha polosalar shakllanganligi kuzatildi.



3-rasm. Tajribaviy PE polimer plyonkaning IQ-spektroskopik tahlili

Olingan spektroskopik natijalar tojli razryad bilan ishlov berish polimer materiallar sirtining kimyoviy holatiga ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi. Ishlov berish jarayonida yuqori energiyali razryad ta'sirida polimer makromolekulalaridagi ayrim C–H va C–C bog'larining faollashishi natijasida sirtida erkin radikal markazlar hosil bo'ladi. Ushbu faol markazlarning atmosfera tarkibidagi kislorod va namlik bilan o'zaro ta'siri natijasida gidroksil (–OH), karbonil (>C=O), karboksil (–COOH) va gidroperoksid (–OOH) kabi kislorod saqllovchi funksional guruhlar shakllanishi mumkin.

Shakllangan qutbli funksional guruhlar polimer sirtining sirt energiyasini oshiradi, namlanish qobiliyatini yaxshilaydi va bosma bo'yoqlari bilan o'zaro ta'sirini kuchaytiradi. Natijada polimer sirtida bo'yoq komponentlarining adgeziyasi yaxshilanib, bosma qatlamining material bilan bog'lanish mustahkamligi ortadi. Shu sababli tojli razryad bilan ishlov berish polipropilen va polietilen kabi past sirt energiyasiga ega polimer plyonkalarni bosma jarayoniga tayyorlashning samarali usullaridan biri hisoblanadi [5].

IQ-spektroskopik tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, tojli razryad ta'sirida polimer sirtida yuzaga kelgan struktura-viy va kimyoviy o'zgarishlar, avvalo, kislorod saqllovchi funksional guruhlarining hosil bo'lishi bilan namoyon bo'ladi. 1745,34 cm^{-1} (BOPP) va 1744,78 cm^{-1} (PE) sohalardagi yangi yutilish polosalari C=O bog'larining mavjudligini tasdiqlaydi. Ushbu o'zgarishlar polimer sirtining qutbliligini oshirib, sirt energiyasining ortishi va adgezion xususiyatlarning yaxshilanishiga olib keladi.

3. Xulosa

Shunday qilib, IQ-spektroskopik tadqiqot natijalari tojli razryad bilan ishlov berish BOPP va PE polimer plyonkalar sirtida sezilarli fizik-kimyoviy o'zgarishlarni yuzaga keltirishini ko'rsatdi. Tojli razryad ta'sirida C=O, –OH, –COOH va –OOH kabi qutbli funksional guruhlarining shakllanishi polimer sirtining sirt energiyasi va namlanish qobiliyatini oshiradi. Bu esa polimer materiallarning bosma

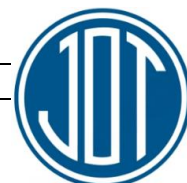
bo'yoqlari bilan adgezion o'zaro ta'sirini kuchaytiradi va bosma sifati barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi. Olingan natijalar polimer plyonkalarni chuqur bosma va boshqa bosma usullarida ishlatishdan oldin tojli razryad bilan sirtga ishlov berishning texnologik samaradorligini asoslaydi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] И. Дехант, Р.Данс, В.Киммер, Р.Шмольке. Инфракрасная спектроскопия полимеров/ Химия, 1976. — 472 с.
- [2] O'Hare L.A., Leadley S.R., Parbhoo B., et al. Surface physicochemistry of corona-discharge-treated polypropylene film // Surface and Interface Analysis. — 2002. — Vol. 33. — P. 335–342.
- [3] Żenkiewicz M. Some effects of corona discharge treatment of biaxially-oriented polypropylene film // The Journal of Adhesion. — 2001. — Vol. 77, No. 1. — P. 25–41. — DOI: 10.1080/00218460108030730.
- [4] Electrical discharge treatment of polypropylene film // Polymer. — 1983. — Vol. 24, No. 1. — P. 47–52. — DOI: 10.1016/0032-3861(83)90079-4.
- [5] В.А.Баканов. Свойства полимерных пленок, активированных коронным разрядом, и особенности применения в производстве упаковки: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/05.02.13.—Москва,2008.21 с.

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

Safayeva Dilafruz Ruzmatovna / Dilafruz Safaeva	Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti dotsenti E-mail: Dilafruzsafaeva@mail.ru Tel: +998909460104 https://orcid.org/0009-0002-6241-0577
Tashmuhammedova Shijoat Bositovna / Shijoat Tashmuhammedova	Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti dotsenti E-mail: shijoattashmuxamedova@gmail.com Tel: + 99890 9553583 https://orcid.org/0009-0006-9177-5945
Zairov Dilmurod Toshmurotovich / Dilmurod Zairov	Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, mutaxassis Tel: + 998 99 645 67 33 https://orcid.org/0009-0002-0143-1553



Improving the cold-start process in fourth-generation gas-cylinder vehicles operating on compressed natural gas fuel

A. Azimov¹ ^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article investigates the reduction of hazardous exhaust pollution and rational energy conservation in vehicle transportation, both essential for protecting urban ecosystems from environmental deterioration. Fourth-generation gas-cylinder equipment equipped with a universal fuel supply system, installed on gas-cylinder vehicles, was selected as the object of the study. The article analyzes the process of switching the engine from gasoline fuel to compressed natural gas fuel during a cold start, and substantiates the adjustment of the temperature threshold governing this transition — recommended by manufacturers to be in the range of 30–40°C — to a level of 25°C, adapted to the climatic conditions of the Republic of Uzbekistan. Based on the operational tests and experiments carried out, empirical formulas for determining gasoline fuel consumption during the engine's cold start were developed, along with a mathematical model describing the "gasoline-gas" and "gas-gasoline" control modes as a function of crankshaft rotation frequency and coolant temperature. The results of the study contribute to improving the energy efficiency and ensuring the environmental safety of gas-cylinder vehicle engines during the cold start process.

Keywords: gas-cylinder vehicle, gas-cylinder equipment, compressed natural gas, "gasoline-gas" control, engine cold start, crankshaft rotation frequency, coolant temperature, energy efficiency, environmental safety, mathematical model

Siqilgan tabiiy gaz yonilg'isida ishlovchi IV-avlod gaz ballonli avtomobillarda sovuq ishga tushirish jarayonini takomillashtirish

Azimov A.¹ ^a

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada markazlashgan shaharlar ekotizimiga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillardan biri bo'lgan avtomobil transporti ekspluatatsiyasi jarayonida atmosferaga chiqariladigan zararli chiqindi gazlar miqdorini kamaytirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish masalalari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot ob'yekti sifatida universal yonilg'i ta'minot tizimiga ega IV-avlod gaz ballon uskunalar bilan jihozlangan gaz ballonli avtomobillar tanlangan. Maqolada dvigatelning sovuq holatda ishga tushirilishidan benzin yonilg'isidan siqilgan tabiiy gaz yonilg'isiga o'tish jarayoni tahlil qilingan hamda ushbu o'tishni belgilovchi harorat ko'rsatkichi ishlab chiqaruvchilar tomonidan tavsiya etilgan 30–40°C oralig'idan O'zbekiston Respublikasi iqlim sharoitlariga moslashtirilib 25°C darajasiga o'tkazilgani asoslangan. O'tkazilgan ekspluatatsiya sinovlari va eksperimentlar asosida dvigatelning sovuq ishga tushirilishi davomidagi benzin yonilg'isi sarfini aniqlovchi empirik formulalar hamda tirsakli val aylanishlar chastotasi va dvigatel haroratiga bog'liq holda "benzindan gazga" va "gazdan benzina" boshqaruv rejimlarini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari gaz ballonli avtomobil dvigatellarining sovuq ishga tushirish jarayonidagi energiya samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizligini ta'minlashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: gaz ballonli avtomobil, gaz ballon uskunas, siqilgan tabiiy gaz, "benzindan gazga" boshqaruvi, dvigatelning sovuq ishga tushirilishi, tirsakli val aylanishlar chastotasi, dvigatel harorati, energiya samaradorligi, ekologik xavfsizlik, matematik model

1. Kirish

Dunyo bo'yicha antropogen omillar natijasida ekologik vaziyatning yomonlashuvi va iqlim o'zgarishlari natijasida yuzaga kelayotgan ulkan tabiiy ofatlar kun sayin ortib

bormoqda. Markazlashgan shaharlar ekotizimining buzilishi xususan, havo sifatining yomonlashuvi, issiqxona effekti, PM zarrachalarining yuqori darajasi ijtimoiy muhit uchun jiddiy xavflardan hisoblanadi. Ushbu muammolarning bartaraf etishning asosiy yechimi, ularni keltirib chiqaruvchi

^a  <https://orcid.org/0000-0002-8385-804X>



manbalarni tadqiq etish va ularning muqobil turlarini yaratish hamda joriy etishdir. Shahar ekotizimiga salbiy ta'sir etuvchi asosiy manbalardan biri avtomobil transporti hisoblanadi. Avtomobillashtirish darajasining yil sayin ortib borishi nafaqat ekspluatatsiya jarayonidagi zararli gazlar miqdorini oshiradi balki energiya resurslariga bo'lgan talabning ham oshib borishiga olib keladi.

Markazlashgan shaharlar ekotizimini barqaror saqlash hamda energiya resurslaridan oqilona foydalanishda barcha energiya iste'molchilari uchun energiya tejamkor texnologiyalar va muqobil energiya manbalaridan foydalanish yuqoridagi muammolarni bartaraf etishda samarali yechimlardan hisoblanadi. Xususan, avtomobil transporti ekspluatatsiyasida an'anaviy yonilg'ilariga muqobil bo'lgan yonilg'ilardan foydalanish va energiya tejamkorligi yuqori bo'lgan texnologiyalarni yaratish rag'batlantirilmoqda. Avtomobillar uchun mavjud neft yonilg'ilariga muqobil sifatida siqilgan va suyultirilgan tabiiy gaz yonilg'isidan foydalanish keng ommalashib bormoqda.

Benzin yoki dizel dvigatellarini siqilgan tabiiy gaz (STG) yonilg'isi uchun qayta jihozlashda, avtomobil maxsus gaz ballon uskunalari (GBU) bilan qayta jihozlanadi va ularni umumiy nom bilan gaz ballonli avtomobillar (GBA) deb nomlaymiz. Benzinli dvigatelarga GBU o'rnatilishi, dvigatel maksimal quvvatini biroz pasaytiradi, lekin shu bilan birga, chiqindi gazlarning toksikligini va shovqin darajasini sezilarli darajada yo'qotib, yonilg'i va moylash materiallari narxini sezilarli darajada kamaytiradi.

Avtomobillar ekspluatatsiyasida gaz yonilg'ilaridan foydalanish iqtisodiy jihatdan istiqbolli bo'lishi bilan birga, gaz ballonli avtomobillarning yuqori yonilg'i samaradorligini va ekologik xavfsizligini ta'minlashi gaz yonilg'isidan foydalanish ko'lamini yanada oshirmoqda.

Gaz ballonli avtomobillar dvigatellarining STG yonilg'isini ishlatish usuliga ko'ra [1,2], ikki yonilg'ida ishlovchi ya'ni siqilgan tabiiy gazda ishlovchi, aralash (kombinatsiyalashgan) va faqat gazda ishlovchi turlarga bo'linadi. Ular ichida birinchi guruh gaz ballonli avtomobillar, umumiy avtomobil parkining asosiy qismini tashkil etadi va asosan yengil avtomobillarda o'rnatiladi.

Gaz ballon uskunalarning yillar davomida takomillashib borishi va yonilg'i tejamkor texnologiyalarga asoslangan elektron dasturiy ta'minotlar asosida ishlab chiqarilishi, avtomobillar ekspluatatsiyasi samaradorligini oshirishda yanada keng imkoniyatlarni taqdim etdi. Ushbu o'zgarishlarning bosqichma-bosqich amalga oshirilishi natijasida, turli avlod gaz ballon uskunalari guruhlanishiga olib keldi.

Adabiyotlar tahlili

Bugungi kunda gaz ballonli avtomobillarda mavjud gaz ballon uskunalari oltita avlodga bo'linadi. Shulardan to'rtta avlod gaz ballon uskunalari STGda ishlovchi universal yonilg'i ta'minlash tizimli gaz ballonli avtomobillarda keng miqyosda qo'llaniladi. Uchinchi va to'rtinchi avlod gaz ballon uskunalari avtomobillarga o'rnatilish salmog'i bo'yicha yuqori hisoblanadi. Aynan uchunchi va to'rtinchi avlod gaz ballon uskunalari avtomobil dvigateli dastlab benzinda ishga tushirilib so'ng gaz yonilg'isiga o'tadi. III-avlod gaz ballon uskunalari benzindan gazga rejimining o'zgarishi tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liqdir ya'ni benzinda ishga tushirilgan dvigatel, tirsakli valning belgilangan ko'rsatgichida gaz yonilg'isiga o'tadi. IV-avlod GBU ega avtomobillarda ham dvigatel dastlab benzinda ishga tushadi va ma'lum vaqt davomida belgilangan

haroratgacha (ekspluatatsiyadagi asosiy gaz ballonli avtomobillar dasturiy sozlamalarida 30°C dan 40°Cgacha) qizdirilgandan so'ng gazga o'tadi [3,9]. Tadqiq etilayotgan siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod GBUning asosiy modellari (STAG, Digitronic, Tomasetto, Landi Renzo va boshqa) dvigatelnin sovuq ishga tushirilib benzindan gazga o'tishidagi ("benzindan gazga" boshqaruvi) bazaviy sozlamalarda tavsiya etilgan harorat 30°C qilib belgilangan. Benzindan gazga o'tish vaqt davomiyligi tashqi muhit haroratiga bog'liq holda o'zgaradi ya'ni harorat pasayishi bilan gaz ballonli avtomobillar benzindan gazga o'tish vaqti oshib boradi.

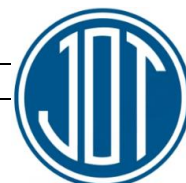
Dvigatel benzindan gazga o'tish jarayoni quyidagi hollardan bo'lmaydi [3, 4]:

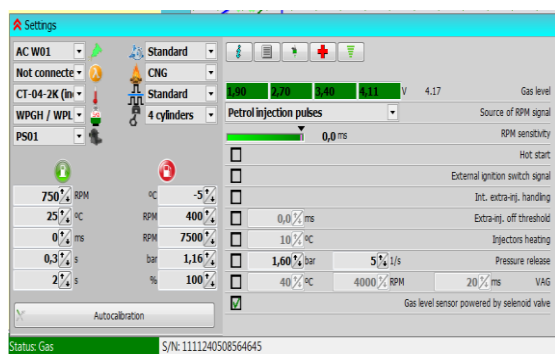
- dvigatel yuklanishi belgilangan kalibrlash chegarasidan tirsakli valning aylanishlar chastotasi (TVACH) oshgan bo'lsa;
- dvigatel harorati me'yor chegaradan quyi bo'lsa;
- injektorlardagi gaz harorati past bo'lsa;
- taqsimlash valining holat datchigi ishlamayotgan bo'lsa;
- elektr jihozlarida kuchlanish miqdori 24 V dan yuqori bo'lsa;
- dvigatel ish holati elektr jihozlaridagi kuchlanish miqdori 8 V dan past bo'lsa.

GBUga ega dvigatellarning benzindan gazga o'tish parametrlaridagi harorati (gaz reduktori harorati), GBU ishlab chiqaruvchi kompaniyalar (Stag, Landi Renzo, Tomasetto va boshq.) tomonidan barcha mavsumlar uchun o'rtacha harorat 30° va 40°C norma belgilangan [5] (1-rasm). Bu haroratni O'zbekiston Respublikasi iqlim sharoitida 25°C ga tushirilgan (2-rasm), ushbu haroratda gazga o'tish dvigatel detallari va GBUning ish ko'rsatgichlariga hech qanday salbiy ta'siri mavjud emas. Bu dvigatel va GBUning STGda normal ishlash harorati, tashqi muhit harorati 10°C dan yuqori bo'lganda [6], shuningdek, dvigatelni STGda ishga tushirish imkoniyati tashqi muhit harorati -5°C [7,6] ekanligi bilan asoslanadi. Shuningdek benzindan gazga o'tishdagi dvigatel harorati 25°C etib belgilanishi, ko'plab yengil avtomobillarda o'tkazilgan eksperimentlar natijasida asoslanadi. Eksperimentlar dvigatel ishga tushirilib benzindan gazga o'tishdagi dvigatel harorati 25°C dan quyi ko'rsatgichlarda, dvigatel barqarorligining buzilishi, tebranish kuchayishi va dvigatelnin o'chishi bilan tugadi.



1-rasm. GBUni diagnostika dasturidagi "benzindan gazga" boshqaruvinin zavod tomonidan tavsiya etilgan universal rostdash tartibi [8]

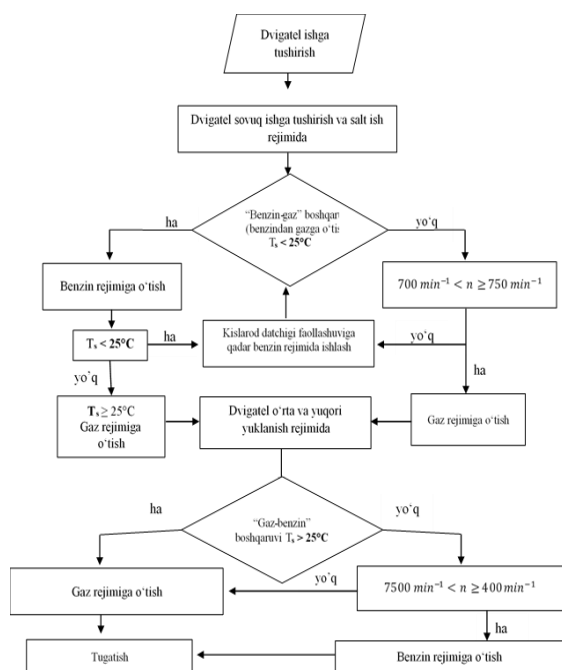




2-rasm. GBUni diagnostika dasturidagi “benzindan gazga” boshqaruvi past ($< 25^{\circ}\text{C}$) va yuqori ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) haroratli ekspluatatsiya sharoitiga ko‘ra rostdash tartibi

2. Tadqiqot metodologiyasi

Dvigatelning benzindan gazga o‘tish algoritmining optimallashtirilishi, uning gazga o‘tish jarayonini tezlashtiradi va benzinda ishlash vaqtining qisqarishiga, yonilg‘i xarajatlarning tejalishiga hamda atmosferaga chiqariladigan ZChG miqdorini kamayishiga olib keladi. Tashqi muhit harorati 25°C gacha bo‘lgan holatlarda dvigatelning ishga tushirilib benzindan gazga o‘tish jarayoni dvigatel haroratiga binoan amalga oshsa, 30°C yuqori haroratli sharoitlarda tirsakli val aylanish chastotasi asosida amalga oshadi (3-rasm).



3-rasm. GBAning sovuq ishga tushirishda benzindan gazga - gazdan benzinga o‘tish algoritm blok sxemasi

Siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod gaz ballonli yengil avtomobil dvigatellarining benzinda ishga tushirilib STGga o‘tish parametrlarini ratsional o‘zgartirish orqali GBAning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini oshirishning matematik modelini yaratishda ekspluatatsiya sharoitini hisobga olish eng muhim shartlardan hisoblanadi.

GBAning ishga tushirishda benzindan gazga o‘tish shartlarini tashqi muhit harorati (IYoD sovitish suyuqligi

harorati), IYoD TVACH va gaz ballon idishini gaz bilan to‘ldirish holatlariga qarab IYoDni sovuq ishga tushirish jarayonini 3 xil ekspluatatsiya sharoiti bo‘yicha quyidagicha matematik modellashirishimiz mumkin [3,9]:

- $T_s < 10^{\circ}\text{C}$ da
 - har qanday holatda dvigatel benzinda ishga tushiriladi.
- $10^{\circ}\text{C} \leq T_s < 25^{\circ}\text{C}$
 - Gaz ballon idishini gaz to‘ldirishdan oldin: Dvigatel benzinda ishga tushiriladi.

Sovuq ishga tushirish fazasi tugagach, dvigatel harorati $T_s \geq 25^{\circ}\text{C}$ bo‘lganda yoki tirsakli val aylanishlar chastotasi 750 min^{-1} ga etganda gaz rejimiga o‘tadi.

- Gaz ballon idishini gaz bilan to‘ldirishdan keyin: Benzinda ishga tushiriladi.

λ -zond faollashganidan so‘ng, dvigatel harorati $T_s \geq 25^{\circ}\text{C}$ bo‘lganda gaz rejimiga o‘tadi.

- $T_s \geq 25^{\circ}\text{C}$
 - Gaz ballon idishini gaz bilan to‘ldirishdan oldin: Benzinda ishga tushiriladi, dvigatel ishdan chiqib ketgandan keyin 30 sekundgacha benzin rejimida qoladi;
 - Agar tirsakli val aylanishi 750 min^{-1} dan oshsa, gaz rejimiga o‘tadi.
 - Gaz ballon idishini gaz bilan to‘ldirishdan keyin: Benzinda ishga tushiriladi;
 - Tirsakli val aylanishi 750 min^{-1} dan oshganda gaz rejimiga o‘tadi.

Avtomobillar ekspluatatsiyasida dvigatelning asosiy sifat ko‘rsatkichlardan biri yonilg‘i sarfi yoki uning tejamkorligi hisoblanadi. Dvigatel ish ko‘rsatkichlarini aniqlashda maxsus stend bilan belgilangan ish rejimlarida ($N_i; p_i; n = \text{const}$), sinash vaqtidagi ma‘lum quvvat uchun sarflangan yonilg‘i miqdorlari o‘lchanadi. O‘lchash natijalari har soatda kg hisobida sarflangan yonilg‘i miqdori quyidagicha aniqlanadi [3]:

$$G_{yo} = \frac{\Delta g}{\tau} \cdot 3,6 \text{ kg/soat}, \quad (1)$$

bu yerda Δg – o‘lchangan yonilg‘i miqdori, g; τ – yonilg‘ining sarf vaqti, s.

IV-avlod GBAning sovuq ishga tushirishda benzindan avtomatik gazga o‘tish algoritmitga ko‘ra, dvigatelning sovuq ishga tushirilishidan gaz yonilg‘isiga o‘tishi davomidagi benzin sarfi sovitish suyuqligi haroratiga T_s bog‘liq hisoblanadi. Ya‘ni T_s miqdori 25°C dan past bo‘lganda dvigatel benzin sarflaydi va T_s miqdori 25°C da avtomatik gaz yonilg‘isi sarfi boshlanadi. Ushbu shartlarni (1) formulaga bog‘laydigan bo‘lsak, τ -ning qiymati $T_s < 25^{\circ}\text{C}$ bo‘lganda benzin sarflanish vaqti τ_{benzin} qabul qilinib, $T_s \geq 25^{\circ}\text{C}$ bo‘lganda benzindan gaz yonilg‘isiga o‘tishini bildiradi, biz ushbu shartlarni matematik formula sifatida quyidagicha ifodalaymiz:

1. τ -ni harorat T_s ga bog‘liq holda quyidagicha aniqlaymiz:

$$\tau = \begin{cases} \tau_{benzin}, & \text{agar } T_s < 25^{\circ}\text{C} \\ \tau_{gaz}, & \text{agar } T_s \geq 25^{\circ}\text{C}. \end{cases} \quad (2)$$

2. τ -ni TVACH ga bog‘liq holda quyidagicha aniqlaymiz:

$$\tau = \begin{cases} \tau_{benzin}, & \text{agar } 7500 \text{ min}^{-1} < n < 4000 \text{ min}^{-1} \\ \tau_{gaz}, & \text{agar } 700 \text{ min}^{-1} < n \leq 750 \text{ min}^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

- Indikator funksiya (I) yordamida benzin uchun τ -ning qiymatini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\tau = \tau_{benzin} \cdot I \quad (4)$$

bu yerda:

$$I = \begin{cases} 1, & \text{agar } T_s < 25^\circ\text{C} \\ 1, \text{agar } 7500 \text{ min}^{-1} < n < 400 \text{ min}^{-1} \end{cases} \quad (5)$$

Yuqoridagilardan kelib chiqib, (1) formulaga benzin yonilg'i sarflanish vaqtiga (τ), GBAning "benzindan gazga" boshqaruvi asosida yaratilgan indikator funksiya (I)ni bog'laymiz va sovuq ishga tushirish davomidagi salt ish rejimi uchun benzin yonilg'i sarfini quyidagi empirik formula orqali aniqlaymiz:

$$G_b = \frac{\Delta g}{\tau_{benzin} \cdot I} \cdot 3,6, \quad \text{kg/soat} \quad (6)$$

IV-avlod GBU ega siqilgan tabiiy gazda ishlovchi avtomobil dvigatellarini ratsional rostlangan "benzindan gazga"/"gazdan benzinga" boshqaruvini funksional ko'rinishdagi matematik modeli asosida dvigatelni sovuq ishga tushirishdagi benzin sarfi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$G_{yo(b,g)} = \begin{cases} \frac{\Delta g}{\tau_{benzin} \cdot I} \cdot 3,6 \text{ agar } T_s < 25^\circ\text{C}, 7500 \text{ min}^{-1} < n < 400 \text{ min}^{-1} \\ \frac{\Delta g}{\tau_{gaz}} \cdot 3,6 \text{ agar } T_s \geq 25^\circ\text{C}, 700 \text{ min}^{-1} < n \leq 750 \text{ min}^{-1} \end{cases} \quad (7)$$

3. Natijalar va muhokamalar

Siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod GBU bilan jihozlangan gaz ballonli yengil avtomobil dvigatellarining sovuq ishga tushirish jarayonidagi energiya samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizligini yaxshilash bo'yicha amalga oshiriladigan benzindan gazga boshqaruv sozlamalarini ratsional rostlash tamoyillariga asoslangan GBA ekspluatatsion ko'rsatkichlarini oshirish konsepsiyasining qo'llanilishi GBA ekspluatatsion ish sanarasini oshirishda eng muhim ishlardan hisoblanadi.

Siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod bilan jihozlangan GBA ihlashida yonilg'ining benzindan gazga yoki aksi o'tishida dvigatel barqarorlikni saqlashi, tebranish, shovqin chiqarmasligi umuman olganda turg'un holatda ishonchli o't olishi lozim, bu benzindan gazga o'tish sozlamalariga bog'liqdir. Ushbu sozlamalarning gaz yonilg'isida ratsional ishlash harorati, tashqi muhit haroratidan 10°C yuqori bo'lganda, dvigatelni gazda ishga tushirish imkoniyati esa tashqi muhit harorati -5°C yuqori haroratlarda oson amalga oshadi. Past haroratli sharoitlarda benzindan gazga o'tish dvigatelning noturg'un ishlashiga, o't olmasligi o'tkazilgan ekspluatatsiya sinovlarida aniqlandi.

4. Xulosa

Xulosa qilib aytganda, siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod GBU bilan jihozlangan gaz ballonli yengil avtomobil dvigatellarining sovuq ishga tushirish jarayonida "benzindan gazga" va "gazdan benzinga" o'tkazuvchi elektron boshqaruv sozlamalarini ratsional rostlash tamoyillariga asoslangan holda, GBA ish ko'rsatkichlarini oshirish imkoniyati aniqlandi. Ekspluatatsiya sinov natijalariga ko'ra GBUning STGda normal ishlash harorati tashqi muhit harorati (10°C) dan yuqori bo'lganda, dvigatelni STGda tezda ishga tushirish harorati -5°C dan yuqori bo'lganda oson amalga oshadi. Past haroratli tabiiy iqlim sharoitlarida benzindan gazga o'tish jarayoni dvigatel ishini noturg'un holatga kelishi va uning to'xtab qolishiga olib kelishini ko'rsatdi.

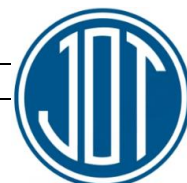
GBA ekspluatatsiyasida GBUning bazaviy sozlamalarda ko'rsatilgan harorat Respublikamiz tabiiy iqlim sharoiti

bo'yicha 25°C ga rostlanishi sovuq ishga tushirish vaqtini qisqarishiga olib keladi.

Siqilgan tabiiy gazda ishlovchi IV-avlod GBA benzindan gazga o'tish algoritmi takomillashtirilib shu asosida GBA dvigatellarining sovuq ishga tushirish jarayonidagi energiya samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizligini ta'minlash bo'yicha "benzindan gazga" yoki "gazdan benzinga" boshqaruvining ratsional rostlanishi ularning ekologik vca iqtisodiy samaradorligini oshirish imkoniyatini taqdim etadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Певнев Н.Г. Совершенствование процесса эксплуатации газобаллонных-автомобилей с двухтопливной системой питания: дис. докт. техн. наук: 05.22.10: защищена 21.01.05/ Николай Гаврилович Певнев; ОГУ. — Оренбург, 2005. — 425 с.
- [2] Сергеев Н.В., Школов В.П., Яровой В.Г., Гетманенко В.М., Щириков В.Н. Устройство и монтаж газобаллонного оборудования транспортно-технологических машин и комплексов: учебное пособие/ —Зерноград:Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2014. — 230 с.
- [3] Azimov A. Universal yonilg'i ta'minot tizimli gaz ballonli yengil avtomobillarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini oshirish: texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. — Toshkent, 2025. — 119 b.
- [4] Шишков В.А. "Методы управления рабочим циклом двухтопливных и однотопливных поршневых газовых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием": дис. ... д-ра. техн. наук: 05.04.02 / В.А. Шишков -Самара, 2013. - 395 с.
- [5] Connection and programming manual for STAG 200 GoFast controller, 22 p., ver. 1.7, 2021-02-10 (<https://www.ac.com.pl/en-services-zone-technical-materials>).
- [6] Ерохов В.И. Работа современных газобаллонных транспортных средств. Лекция № 5. Часть 4. Особенности работы современных газодизельных автомобилей / В.И. Ерохов // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. — 2019. — Т. 18. — № 11. — С. 503-527.
- [7] Ерохов В. И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика). Учебник для вузов. — М: Горячая линия — Телеком, 2012. — 598 с., 24.
- [8] Connection and programming manual for STAG 200 GoFast controller, 22 p., ver. 1.7, 2021-02-10 (<https://www.ac.com.pl/en-services-zone-technical-materials>).
- [9] Bazarov, B. I., Axmatjanov, R. N., & Azimov, A. (2023). Methods of improving the performance indicators of vehicles with gas cylinders with a universal fuel supply system. International Research Journal of Environmental Sciences ISSN 2319-1414 Vol. 12(3), 23-29, October (2023).



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

Azimov Akmal / Toshkent davlat transport
Akmal Azimov universiteti, "Transport
energetik qurilmalari"
kafedrası dotsent v.b.
E-mail:
akmaldotsent@gmail.com
Tel.: +998995536014



Improvement of the method for assessing the need for electrochemical protection of reinforced concrete bridge piers

A.A. Beliy^{1,2}^a, Sh.Sh. Kadirova¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²K2 Engineering LLC, Moscow, Russia

Abstract: The article analyzes the initiation and development of reinforcement corrosion in reinforced concrete bridge piers exposed to chloride attack and stray currents during operation. The influence of these factors on the technical condition and long-term operational reliability of the structures is also considered. An approach is presented for assessing corrosion processes and determining the effectiveness of electrochemical protection of reinforcement, taking into account the chloride ion content and stray current parameters in reinforced concrete bridge piers. The proposed approach makes it possible to assess the development of reinforcement corrosion under the combined effects of chloride attack and stray currents, substantiate the need for electrochemical protection, and improve the operational reliability of reinforced concrete bridge piers.

Keywords: reinforced concrete bridge piers, chloride attack, stray currents, reinforcement corrosion, electrochemical protection, cathodic protection, operational reliability

Ko‘prik temirbeton tayanchlarida elektrokimyoviy himoyani qo‘llash zaruratini baholash usulini takomillashtirish

Beliy A.A.^{1,2}^a, Kadirova Sh.Sh.¹^b

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²“K2 Engineering” MChJ, Moskva, Rossiya

Annotatsiya: Maqolada ekspluatatsiya jarayonida xlorid agressiyasi va daydi toklar ta’siriga uchraydigan ko‘prik temirbeton tayanchlarida armatura korroziyasining yuzaga kelishi va rivojlanish xususiyatlari tahlil qilingan, shuningdek, ushbu omillarning konstruksiyalarning texnik holati va uzoq muddatli ekspluatatsion ishonchliligiga ta’siri ko‘rib chiqilgan. Ko‘prik temirbeton tayanchlarida xlorid-ionlar miqdori va daydi toklar ko‘rsatkichlarini hisobga olgan holda korroziya jarayonlarini baholash hamda armaturani elektrokimyoviy himoya qilish samaradorligini aniqlash yondashuvi keltirilgan. Taklif etilayotgan yondashuv xlorid agressiyasi va daydi toklarning birgalikdagi ta’siri sharoitida armatura korroziyasining rivojlanishini baholash, elektrokimyoviy himoyani qo‘llash zaruratini asoslash hamda ko‘prik temirbeton tayanchlarining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: ko‘prik temirbeton tayanchlari, xlorid agressiyasi, daydi toklar, armatura korroziyasi, elektrokimyoviy himoya, katod himoyasi, ekspluatatsion ishonchlilik

1. Kirish

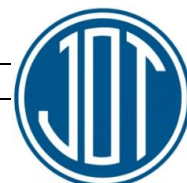
Temirbeton ko‘prik tayanchlari transport infratuzilmasining muhim konstruktiv elementlaridan biri bo‘lib, ularning texnik holati va uzoq muddatga chidamliligi inshootning ishonchli va xavfsiz ekspluatatsiyasini ta’minlaydi. Ekspluatatsiya jarayonida ko‘prik tayanchlari harorat va namlikning o‘zgarishi, betonning karbonatlashuvi, atmosfera ta’siri, xlorid birikmalarining kirib borishi hamda boshqa agressiv muhit omillarining ta’siriga uchraydi [1–11]. Ushbu omillar orasida xlorid agressiyasi temirbeton konstruksiyalarning uzoq muddatga chidamliligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatib, armaturaning

korroziyaga qarshi tabiiy himoya xususiyatlarining buzilishiga olib keladi.

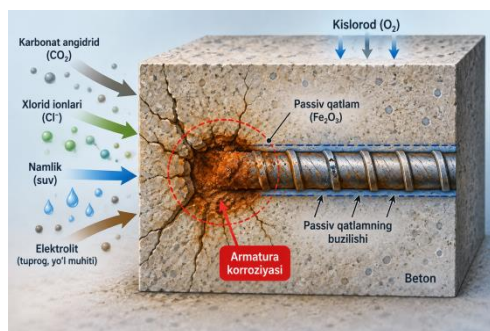
Xlorid-ionlarning beton himoya qatlami orqali armatura sirtiga kirib borishi uning passiv holatining buzilishiga va elektrokimyoviy korroziya jarayonining faollashishiga sabab bo‘ladi (1-rasm) [16, 19–25]. Korroziya mahsulotlari hajmining ortishi beton tarkibida ichki kuchlanishlarning yuzaga kelishiga, himoya qatlamining darz ketishi va buzilishiga, armaturaning ochilib qolishiga hamda uning ko‘ndalang kesim yuzasining kamayishiga olib keladi. Natijada temirbeton elementlarning texnik holati

^a <https://orcid.org/0000-0002-2825-1368>

^b <https://orcid.org/0009-0007-6148-9785>



yomonlashib, ularning uzoq muddatga chidamliligi va ekspluatatsion ishonchiligi pasayadi [16, 17, 20–25].



1-rasm. Xlorid agressiyasi ta'sirida temirbeton armaturasida korroziyaning rivojlanish mexanizmi

Beton tarkibidagi namlik va xlorid-ionlar bilan bir qatorda, tashqi elektr ta'sirlari, xususan, daydi toklarning mavjudligi ham armaturada kechadigan elektrokimyoviy jarayonlarning jadallashishiga sabab bo'lishi mumkin [31]. Bunday sharoitda agressiv omillarning birgalikdagi ta'siri temirbeton elementlarda korroziya jarayonining rivojlanish xavfini oshiradi. Shu sababli konstruksiyaning haqiqiy ekspluatatsiya sharoitini baholashda alohida omillarning ta'siri bilan bir qatorda, ularning o'zaro bog'liq ta'sirini ham hisobga olish muhim ahamiyat kasb etadi.

Temirbeton konstruksiyalarni korroziyadan himoya qilish uchun turli konstruktiv, texnologik va elektrokimyoviy usullar qo'llaniladi [5, 14–18, 26–30]. An'anaviy ta'mirlash usullari, jumladan, shikastlangan beton qatlamlari olib tashlash va qayta tiklash, himoya qoplamalarini qo'llash hamda gidroizolyatsiyani tiklash konstruksiyaning texnik holatini yaxshilash imkonini beradi. Biroq beton tarkibida xlorid-ionlar saqlanib qolgan sharoitda ushbu usullar korroziya jarayonining elektrokimyoviy sabablarini to'liq bartaraf eta olmaydi [16–18].

Armatura korroziyasini susaytirishning istiqbolli usullaridan biri elektrokimyoviy himoya, xususan, katod qutblanishi hisoblanadi [18]. Mazkur usul armaturaning elektrokimyoviy potensialini manfiy tomonga siljitish orqali uning anod erishi jarayonini kamaytirishga asoslangan. Elektrokimyoviy himoyadan foydalanish xloridlar bilan zararlangan temirbeton konstruksiyalarda korroziya jarayonini boshqarish, uning rivojlanish tezligini kamaytirish va korroziya jarayonining rivojlanish darajasini uzaytirish imkonini beradi [18, 31].

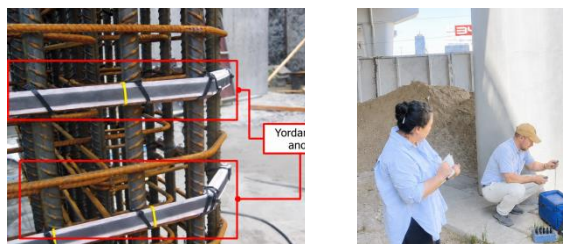
Shu bilan birga, elektrokimyoviy himoyaning yuqori samaradorligi uni barcha temirbeton ko'priklarning tayanchlarida bir xil sharoitda qo'llash zarurligini anglatmaydi. Himoya tizimini qo'llash to'g'risida muhandislik qarorini qabul qilishda konstruksiyaning haqiqiy ekspluatatsiya sharoiti, beton tarkibidagi xlorid-ionlar miqdori, daydi toklarning mavjudligi va korroziya jarayonining rivojlanish darajasini kompleks hisobga olish talab etiladi. Shu nuqtai nazardan, ushbu omillarni o'zaro bog'liq holda hisobga oluvchi va elektrokimyoviy himoyani qo'llash zaruratini miqdoriy jihatdan asoslash imkonini beruvchi baholash usullarini takomillashtirish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot ko'priklarning temirbeton tayanchlarida armatura korroziyasining rivojlanishiga ta'sir etuvchi

ekspluatatsion omillarni aniqlash hamda elektrokimyoviy himoyani qo'llash zaruratini baholashga qaratilgan kompleks yondashuv asosida amalga oshirildi. Tadqiqot metodikasi ilmiy va me'yoriy manbalarni tahlil qilish, obyektning texnik holatini naturaviy o'rganish, beton tarkibidagi xlorid-ionlar miqdorini laboratoriya sharoitida aniqlash, daydi toklar parametrlarini o'lchash hamda olingan natijalarni hisobiy-tahliliy baholashni o'z ichiga oladi.

Tadqiqot obyekti sifatida Toshkent shahrining Bobur ko'chasida, Islom Karimov nomidagi Toshkent xalqaro aeroporti yo'nalishida joylashgan yo'l o'tkazgichning temirbeton tayanchlari qabul qilindi. Mazkur inshoot murakkab tabiiy-iqlimiy, texnogen va antropogen ta'sirlar sharoitida ekspluatatsiya qilinadi [32]. Naturaviy tadqiqotlar yo'l o'tkazgichning 12, 10 va 8-3-sonli tayanchlarida amalga oshirildi (2- rasm).



2-rasm. Ko'priklarning temirbeton tayanchlarida elektrokimyoviy himoya tizimi va nazorat o'lchovlari: a) armatura karkasiga o'rnatilgan yordamchi anodlar; b) beton yuzasida elektrokimyoviy ko'rsatkichlarni dala sharoitida o'lchash jarayoni

Armatura korroziyasiga ta'sir etuvchi agressiv muhitni baholash uchun beton tarkibidagi xlorid-ionlar miqdori va daydi toklarning elektr ko'rsatkichlari asosiy nazorat parametrlari sifatida qabul qilindi. Xlorid-ionlar miqdori tayanchlarning turli uchastkalaridan olingan beton namunalarni laboratoriya sharoitida tahlil qilish orqali aniqlandi. Daydi toklarning mavjudligi va ularning kuchlanish ko'rsatkichlari esa dala sharoitida maxsus o'lchash vositalari yordamida aniqlandi. O'lchash ishlari har bir tayanchning to'rtta nazorat kesimida bajarilib, jami 100 dan ortiq o'lchash natijalari olindi.

Naturaviy va laboratoriya tadqiqotlari natijalarini qayta ishlashda xlorid-ionlar konsentratsiyasi bilan armatura korroziyasi jadalligi o'rtasidagi bog'liqlik hisobga olindi. Bunda beton tarkibidagi xloridlar miqdorining ortishi natijasida armaturaning passiv holati buzilishi va korroziya jarayonining noxiziq rivojlanishi asosiy baholash sharti sifatida qabul qilindi [19–25]. Korroziya jarayonining miqdoriy tavsifi sifatida korroziya toki zichligi va armatura korroziyasi tezligi ko'rsatkichlaridan foydalanildi. Bazaviy tadqiqotda ushbu bog'liqlik 0,20–2,00 % xlorid konsentratsiyasi oralig'ida baholangan.

Elektrokimyoviy himoyaning samaradorligini baholashda katod himoya toki zichligi, armatura elektrokimyoviy potensialining siljishi va korroziyani susaytirish darajasi o'rtasidagi bog'liqlik qabul qilindi. Himoya toki zichligining ortishi armatura potensialining manfiy tomonga siljishiga va korroziya jarayonining kamayishiga olib kelishi hisobga olindi [18]. Ushbu parametrlarni o'zaro taqqoslash elektrokimyoviy himoyaning samarali ishlash diapazonini hamda muayyan ekspluatatsiya sharoitida uni qo'llashning maqsadga muvofiqligini baholash imkonini beradi.

Takomillashtirilayotgan baholash usulining asosiy tamoyili xlorid agressiyasi va daydi toklarni alohida omillar sifatida emas, balki armatura korroziyasining rivojlanishiga birgalikda ta'sir etuvchi ekspluatatsion omillar sifatida ko'rib chiqishdan iborat. Shu asosda naturaviy o'lchash natijalari, xlorid-ionlar miqdori va armatura korroziyasining hisobiy ko'rsatkichlarini o'zaro taqqoslash orqali temirbeton tayanchlarda elektrokimyoviy himoyani qo'llash zaruratini baholash ko'zda tutiladi.

Har bir tayanchning to'rtta nazorat kesimida bajarilgan o'lchashlar bo'yicha jami 100 dan ortiq natija olindi. Daydi toklarni o'lchash natijalariga ko'ra, nazorat nuqtalaridagi kuchlanish qiymatlari 0,008–0,35 V oralig'ida o'zgardi. Beton namunalarning laboratoriya tahlili esa xlorid-ionlar miqdori 0,04 % ekanligini ko'rsatdi [32].

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, tadqiqot obyektida armatura korroziyasiga ta'sir qiluvchi omillarni faqat xlorid-ionlar miqdori bo'yicha baholash yetarli emas. Beton tarkibida xloridlarning mavjudligi bilan bir vaqtda daydi toklarning qayd etilishi armatura atrofidagi elektrokimyoviy muhitni baholashda ushbu ikki omilni birgalikda hisobga olish zarurligini ko'rsatadi. Shu sababli elektrokimyoviy himoyani qo'llash zarurati konstruksiyaga ta'sir qiluvchi alohida agressiv omil asosida emas, balki ularning birgalikdagi ta'siri asosida baholanishi maqsadga muvofiq.

Armatura korroziyasining rivojlanish darajasini miqdoriy baholash uchun xlorid-ionlar konsentratsiyasi, korroziya toki zichligi va korroziya tezligi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilindi. Hisobiy natijalar xlorid-ionlar konsentratsiyasi ortishi bilan korroziya jarayoni nohiziq ravishda jadallashishini ko'rsatdi. Xlorid-ionlar miqdori 0,20 % bo'lganda korroziya toki zichligi 0,08 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ va korroziya tezligi 0,92 $\mu\text{m}/\text{yil}$ ni tashkil etgan bo'lsa, xloridlar miqdori 0,40 % ga yetganda ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 0,21 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ va 2,43 $\mu\text{m}/\text{yil}$ gacha oshgan. Xloridlar konsentratsiyasining 0,80 % gacha ortishi korroziya tezligini 13,28 $\mu\text{m}/\text{yil}$ gacha, 1,60 % da esa 91,21 $\mu\text{m}/\text{yil}$ gacha oshiradi. 2,00 % xlorid miqdorida hisobiy korroziya tezligi 177,01 $\mu\text{m}/\text{yil}$ ga yetadi (1-jadval).

1-jadval

Xlorid-ionlar konsentratsiyasiga bog'liq holda armatura korroziyasi ko'rsatkichlarining o'zgarishi

Xlorid-ionlar konsentratsiyasi, sement massasiga nisbatan %	Korroziya toki zichligi, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Korroziya tezligi, $\mu\text{m}/\text{yil}$
0,20	0,08	0,92
0,40	0,21	2,43
0,80	1,15	13,28
1,20	3,44	39,76
1,60	7,89	91,21
2,00	15,31	177,01

1-jadval natijalari korroziya jarayonining chiziqli emasligini yaqqol ko'rsatadi. Xususan, xlorid-ionlar konsentratsiyasi 0,40 % dan 0,80 % gacha ikki baravar oshganda korroziya tezligi 2,43 dan 13,28 $\mu\text{m}/\text{yil}$ gacha, ya'ni qariyb 5,5 baravar ortadi. Xloridlar miqdori 1,60 % ga yetganda esa korroziya tezligi 0,40 % dagi qiymatga

nisbatan qariyb 37,5 baravar yuqori bo'ladi. Bu holat xloridlarning ma'lum darajada to'planishidan so'ng armaturaning passiv holati buzilishi va korroziya jarayonining keskin jadallashishini ko'rsatadi.

Keyingi bosqichda elektrokimyoviy himoya parametrlarining armatura korroziyasini susaytirish samaradorligiga ta'siri tahlil qilindi. Katod himoya toki zichligi 2,55 mA/m^2 bo'lganda armatura potentsialining siljishi –92,3 mV ni, korroziyani susaytirish darajasi esa 85,7 % ni tashkil etdi. Himoya toki zichligi 5,10 mA/m^2 gacha oshirilganda korroziyani susaytirish darajasi 94,2 %, 7,65 mA/m^2 da 97,8 % va 10,20 mA/m^2 da 99,1 % ga yetdi. Tok zichligining keyingi oshirilishi himoya samaradorligining nisbatan kichik o'zgarishiga olib keldi.

3. Xulosa

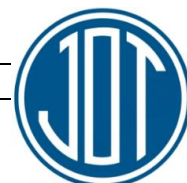
O'tkazilgan tadqiqotlar elektrokimyoviy himoyadan foydalanish ko'prik temirbeton tayanchlarida armatura korroziyasini nazorat qilish va uning rivojlanish jadalligini kamaytirishning samarali yechimi ekanligini ko'rsatdi. Katod qutblanishi korroziya oqibatlarini bartaraf etishga emas, balki armaturada kechayotgan elektrokimyoviy jarayonni susaytirishga qaratilganligi bilan an'anaviy ta'mirlash usullaridan farq qiladi. Himoya parametrlarining maqbul qiymatlarida korroziya jarayonini 98 % gacha kamaytirish, tashqi tok manbaiga ega tizimlardan foydalanilganda esa konstruksiyaning hisobiy xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytirish imkoniyati mavjud.

Olingan natijalar EKHni faqat konstruksiyada korroziya shikastlanishlari aniqlangandan keyin qo'llaniladigan ta'mirlash tadbiri sifatida baholash yetarli emasligini ko'rsatadi. Uni ko'prik inshootining butun xizmat davri davomida texnik holatini saqlashga qaratilgan preventiv himoya chorasi sifatida qo'llash maqsadga muvofiq. Bunda EKHni joriy etish to'g'risidagi qaror konstruksiyaning haqiqiy ekspluatatsiya sharoiti, xlorid agressiyasi, daydi toklarning mavjudligi va korroziya jarayonining rivojlanish darajasini hisobga olgan holda qabul qilinishi lozim.

Uzoq muddatli ekspluatatsiya nuqtai nazaridan EKH tizimlariga sarflanadigan dastlabki xarajatlardan keyingi davrlarda takroriy va kapital ta'mirlash ishlariga bo'lgan ehtiyojning kamayishi hisobiga qoplanadi. Shu sababli elektrokimyoviy himoyani ko'priklarning ekspluatatsion ishonchligini oshirish, xizmat muddatini uzaytirish va ularni saqlash bilan bog'liq xarajatlarni optimallashtirishga xizmat qiluvchi texnik-iqtisodiy jihatdan asoslangan boshqaruv vositasi sifatida qarash mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Сурнин Д. А. Использование цинка для антикоррозионной защиты мостов. Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2022; 2(53): 60–66.
- [2] Матюнин Д. Ю., Казьмин С. А., Босов А. Б., Лобанов А. В. Применение протекторных сплавов для защиты от коррозии морских объектов. Гидротехника. 2024; 1(74): 2–9.
- [3] Бурков А. К., Попов И. И. Комплексные решения электрохимической защиты от коррозии —



оборудование и аспекты проектирования. Гидротехника. 2025; 2: 69–71.

[4] Şirinova A. Y. Metal konstruksiyaların korroziyadan mühafizəsində elektokimyəvi katod mühafizə qurğuları. Elmi xəbərlər. Təbiət və Texniki Elmlər Bölməsi. 2024; 24(3): 89–94.

[5] Каверинский В. С., Каверинский Д. В. Новые методы защиты от коррозии. Лакокрасочные материалы и их применение. 2020; 5: 10–14.

[6] Ануфриев Н. Г., Кузенков Ю. А. Исследование коррозионного поведения алюминия 1980T1 в морской воде и буровом растворе электрохимическими методами. Практика противокоррозионной защиты. 2022; 27(3): 7–30.

[7] Заварзин С. В., Оглодков М. С., Чесноков Д. В., Козлов И. А. Высокотемпературная солевая коррозия и защита материалов газотурбинных двигателей (обзор). Труды ВИАМ. 2022; 3(109): 121–134.

[8] Гарашко В. В. Антикоррозионная защита шпунтовых ограждений: технологии, материалы и перспективы. Молодой исследователь Дона. 2025; 10(3/54): 17–21.

[9] Бузинер Ю. Л., Шмаков Н. Н. Антикоррозионное покрытие Ecomast для защиты ГТС в различных условиях эксплуатации. Гидротехника. 2024; 4(77): 74–75.

[10] Михеева О. В., Миркина Е. Н., Мавзовин В. С. Принципы антикоррозионной защиты трубопроводов. Экономика строительства. 2025; 1: 356–359.

[11] Рева Ю. В. Электрохимическая протекторная защита активных частей электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса. Проблемы управления рисками в техносфере. 2022; 4(64): 104–110.

[12] Захарова П. И., Хорин А. В. Новый перспективный коррозионностойкий материал с повышенным ресурсом работы для предупреждения ситуаций техногенного характера. Молодежь и наука. 2023; 9.

[13] Пичугова Л. Н. Защита от коррозии на АЭС. Энергетические установки и технологии. 2023; 9(4): 74–83.

[14] Бочаров В. А. Цинкирование — высокоэффективная защита от коррозии. Гидротехника. 2024; 1(74): 62–64.

[15] Ревин П. О., Макаренко А. В. Исследование долговечности антикоррозионных покрытий для защиты причальных сооружений. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022; 12(5): 470–479.

[16] Овчинникова Т. А., Маринин А. Н., Овчинников И. Г. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций. Интернет-журнал «Науковедение». 2014; 5(24): 06KO514.

[17] Мигунов В. Н., Овчинников И. И., Овчинников И. Г. Экспериментально-теоретическое моделирование армированных конструкций в условиях коррозии: монография. Пенза: ПГУАС; 2014. 294 с.

[18] Степанова В. Ф., Розенталь Н. К., Моисеева Н. А. Катодная электрохимическая защита арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях. Промышленное и гражданское строительство. 2023; 12: 46–50.

[19] Dang V. Q., Ogawa Y., Bui P. T., Kawai K. Effects of chloride ions on the durability and mechanical properties

of sea sand concrete incorporating supplementary cementitious materials under an accelerated carbonation condition. Construction and Building Materials. 2021; 274: 122016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122016.

[20] Шалый Е. Е., Леонович С. Н., Ким Л. В. Долговечность морских сооружений при комбинированной коррозии железобетона. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018; 1(5): 65–72.

[21] Леонович С. Н., Степанова А. В., Цуприк В. Г., Ким Л. В. и др. Долговечность бетона при хлоридной агрессии: монография. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет; 2020. 90 с.

[22] Карпенко Н. И., Ярмаковский В. Н., Ерофеев В. Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций. Academia. Архитектура и строительство. 2015; 1: 93–102.

[23] Леонович С. Н. и др. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций при комбинированном воздействии карбонизации и хлоридной агрессии и их восстановление / под общ. ред. С. Н. Леоновича. Минск: БНТУ; 2021. 353 с.

[24] Leonovich S. N., Shalyi E. E., Kim L. V. Reinforced Concrete under the Action of Carbonization and Chloride Aggression: a Probabilistic Model for Service Life Prediction. Science and Technique. 2019; 18(4): 284–291.

[25] Шалый Е. Е. и др. Совместное действие карбонизации и хлоридной агрессии на конструкционный бетон: вероятностная модель. Вестник гражданских инженеров. 2018; 68(3): 123–131.

[26] Duan Y., Wang J. Y., Wang L. Corrosion prevention of steel bars in concrete using amine and epoxy compounds. Construction and Building Materials. 2018; 170: 692–700.

[27] Liu Y., Wang Y., Li W. Corrosion inhibition of reinforcing steel in concrete by plant exudates. Materials and Corrosion. 2022; 73(6): 1536–1544.

[28] Li Y., Zou X., Zhao F., Ma L. Corrosion inhibition of Graphene oxide for steel in concrete. Corrosion Science. 2019; 153: 240–249.

[29] Afrasiyabi M., Ramezaniapour A. A., Ghanbari M. Corrosion of steel in concrete: A review. Construction and Building Materials. 2017; 141: 835–851. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.186.

[30] Daniyal M., Akhtar S. Corrosion assessment and control techniques for reinforced concrete structures: a review. Journal of Building Pathology and Rehabilitation. 2020; 5: 1. DOI: 10.1007/s41024-019-0067-3.

[31] Geiker M. R., Polder R. B. Experimental support for new electro active repair method for reinforced concrete. Materials and Corrosion. 2016; 67: 600–606.

[32] Белый А. А., Шермухамедов У. З., Собирова М. М., Кадирова Ш. Ш. и др. Мониторинг инженерных конструкций путепровода по улице Бабура к Ташкентскому международному аэропорту имени Ислама Каримова. Путевой Навигатор. 2025; 64(90): 46–55.



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

Beliy Andrey /
Andrey Belyi

Xalqaro transport akademiyasi
akademigi, Rossiya transport
akademiyasi akademigi, «K2
Engineering» MChJ texnik
direktori, Toshkent davlat
transport universiteti
«Ko'priklar va tonnellar»
kafedra v.b. professori, t.f.d.,
dotsent
E-mail: andbeliy@mail.ru

Kadirova Sharofat
/
Sharofat Kadirova

Tel.: +998917841220
<https://orcid.org/0000-0002-2825-1368>

Toshkent davlat transport
universiteti «Ko'priklar va
tonnellar» kafedra v.b.
dotsenti
E-mail:
kadyrova.sharofat@mail.ru
Tel.: +998979567222
<https://orcid.org/0009-0007-6148-9785>



Effect of a binary micro-filler and polyfunctional admixture on the structure formation and properties of cement binders

A.I. Adylkhodjaev¹^a, I.A. Kadyrov²^b, F.E. Abdukadyrov¹^c, S.S. Niyazbekov³,
A.F. Babajanov¹^d, A.Kh. Kamalov⁴

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”

³Uzbek-Japan Innovation Center of Youth, Tashkent, Uzbekistan

⁴Ko'priksifatnazorat LLC, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This study investigates the structure formation and properties of a cement binder modified with a binary micro-filler (silica fume and ground marble) and a polyfunctional admixture, K1W. Using the design of experiments and response surface methodology, the mixture composition was optimized. The optimal combination of 10% silica fume, 15% marble powder, and 0.9% K1W significantly reduces water demand and maximizes the compressive strength of the hardened cement paste, achieving 74.0 MPa at 28 days and 90.2 MPa at 90 days. X-ray diffraction (XRD) analysis confirms that this complex modification intensifies the formation of calcium silicate hydrates (C-S-H) while reducing free portlandite content. The findings substantiate the efficiency of the developed binder for resource-saving and sustainable construction technologies.

Keywords: Cement binder, binary micro-filler, silica fume, ground marble powder, polyfunctional admixture (K1W), hardened cement paste, structure e formation, compressive strength, mathematical modeling, green construction, resource efficiency

Влияние бинарного микронаполнителя и полифункциональной добавки на формирование структуры и свойств цементного вяжущего

Адилходжаев А.И.¹^a, Кадиров И.А.²^b, Абдукадиров Ф.Э.¹^c, Ниязбеков С.С.³,
Бабажанов А.Ф.¹^d, Камалов А.Х.⁴

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

³Узбекско-Японский молодежный центр инноваций, Ташкент, Узбекистан

⁴ООО «Ko'priksifatnazorat», Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье исследовано формирование структуры и свойств цементного вяжущего, модифицированного бинарным микронаполнителем (микрокремнезем и тонкомолотый мрамор) и полифункциональной добавкой K1W. С применением методов математического планирования и поверхностей отклика оптимизирован состав системы. Установлено, что введение 10 % микрокремнезема, 15 % мраморного наполнителя и 0,9 % добавки K1W обеспечивает снижение водопотребности и максимальный прирост прочности цементного камня (до 74,0 МПа в 28 суток и 90,2 МПа в 90 суток). По данным рентгенофазового анализа, комплексное модифицирование интенсифицирует образование гидросиликатов кальция и снижает содержание свободного портландита. Результаты подтверждают эффективность разработанного вяжущего для применения в ресурсосберегающих технологиях экологичного строительства.

Ключевые слова: Цементное вяжущее, бинарный микронаполнитель, микрокремнезем, мраморный микронаполнитель, полифункциональная добавка, K1W, цементный камень, структурообразование, прочность, математическое моделирование, зелёное строительство, ресурсосбережение

^a <https://orcid.org/0000-0001-5729-5178>

^b <https://orcid.org/0000-0003-3924-0864>

^c <https://orcid.org/0000-0003-2271-3768>

^d <https://orcid.org/0009-0002-7990-0206>



1. Введение

Современное развитие строительной отрасли связано с необходимостью перехода к ресурсосберегающим и экологически ориентированным технологиям, обеспечивающим снижение материалоемкости и энергетических затрат при сохранении требуемого уровня эксплуатационных характеристик строительных материалов. В рамках концепции зелёного строительства особое значение приобретает разработка эффективных вяжущих систем с использованием минеральных компонентов местного происхождения, позволяющих рационально использовать природные ресурсы и одновременно повышать качество цементных материалов.

Одним из перспективных направлений является модифицирование цементных вяжущих высокодисперсными минеральными компонентами и химическими добавками. Применение микронаполнителей позволяет целенаправленно регулировать гранулометрическую упаковку, процессы гидратации и формирование поровой структуры цементного камня. Использование тонкодисперсных минеральных материалов также создаёт возможность частичного замещения цементной составляющей и более рационального использования сырьевых ресурсов.

Особый интерес представляет применение бинарных микронаполнителей, сочетающих компоненты с различным механизмом воздействия на цементную систему. Совместное использование микрокремнезёма и тонкодисперсного мраморного микронаполнителя позволяет одновременно реализовать пуццолановый, микронаполняющий и структурообразующий эффекты. При этом эффективность минерального модифицирования может быть дополнительно повышена за счёт применения полифункциональных химических добавок, регулирующих водопотребность и процессы структурообразования цементного теста.

С научной и практической точки зрения важным является установление закономерностей совместного действия минеральных и химических модификаторов, поскольку именно их взаимодействие определяет формирование структуры цементного камня и его последующие физико-механические свойства. Рациональное сочетание компонентов позволяет получать более плотную структуру, снижать водопотребность и повышать эффективность использования цементного вяжущего, что соответствует основным принципам ресурсосберегающего и экологически ориентированного строительства.

Целью исследования является установление влияния бинарного микронаполнителя и полифункциональной добавки на формирование структуры, технологические и физико-механические свойства цементного вяжущего и определение их рационального сочетания.

Научная новизна заключается в установлении закономерностей совместного действия бинарного микронаполнителя на основе микрокремнезёма и мраморного микронаполнителя и полифункциональной добавки K1W на формирование структуры и свойств цементного вяжущего, а также в обосновании их рационального сочетания для снижения

водопотребности и формирования плотной структуры цементного камня.

2. Методика исследования

2.1. Применяемые материалы

В качестве основного вяжущего материала использовали портландцемент СЕМ I 42.5N. Его химический состав характеризовался содержанием SiO_2 – 21,08 %, Al_2O_3 – 5,12 %, Fe_2O_3 – 4,74 %, CaO – 63,7 %, MgO – 2,63 % и SO_3 – 0,43 %. Минералогический состав цемента включал C_3S – 54,8 %, C_2S – 18,2 %, C_3A – 5,8 % и C_4AF – 14,4 %. Нормальная густота цемента составляла 29 %, начало и конец схватывания – 168 и 311 мин соответственно, удельная поверхность – $3681 \text{ см}^2/\text{г}$, плотность – $3,18 \text{ г}/\text{см}^3$, а прочность при сжатии в возрасте 28 суток – 44 МПа.

В качестве минерального модификатора применяли бинарный микронаполнитель, состоящий из микрокремнезёма и тонкомолотого мраморного наполнителя. Мрамор получен из месторождения Газган Навоийской области и характеризуется стабильным химическим составом и однородной структурой. Основными компонентами мрамора являются CaO и CO_2 , содержание которых составляет соответственно 53–55 и 42–43 %.

Микрокремнезём представлял собой высокодисперсный порошок, основу материала составляют сферические частицы диоксида кремния; содержание SiO_2 составляет 85–90 %.

На первом этапе содержание микрокремнезёма и мраморного микронаполнителя изменяли в диапазоне 0–20 % от массы цемента. Для установления рационального сочетания компонентов был реализован полный двухфакторный эксперимент, включавший 25 составов. Удельная поверхность микрокремнезёма изменялась от 12000 до 20000 $\text{см}^2/\text{г}$, мраморного наполнителя — от 2000 до 4000 $\text{см}^2/\text{г}$.

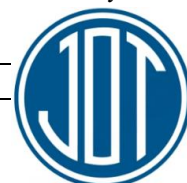
В качестве химического модификатора применяли полифункциональную добавку K1W, обладающую водоредуцирующим действием и способностью влиять на кинетику твердения цементной системы. Для исследования влияния добавки её содержание изменяли от 0,3 до 1,5 % от массы вяжущего.

2.2. Методы исследования

Исследование проводилось в несколько последовательных этапов. На первом этапе определяли влияние компонентов бинарного микронаполнителя на основные технологические и прочностные характеристики цементной системы. Нормальную густоту и водопотребность цементного теста определяли с использованием прибора Вика по глубине погружения пестика. Начало и конец схватывания также определяли с использованием прибора Вика в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Для оценки влияния полифункциональной добавки определяли нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста без минерального модификатора и в присутствии оптимального бинарного микронаполнителя. Данный комплекс показателей использовали для оценки изменения водопотребности и характера начальных процессов гидратации.

Для исследования процессов раннего структурообразования определяли кинетику



пластической прочности цементного теста. Данный показатель использовали для оценки продолжительности индукционного периода, скорости формирования межчастичных контактов и перехода цементной системы от пластического состояния к пространственно связанной структуре. Исследования проводили для контрольного, бинарно-модифицированного, K1W-модифицированного и комплексно-модифицированного составов.

Для оценки развития механических свойств определяли прочность при сжатии цементного камня в возрасте 2, 7, 28 и 90 суток. Образцы формовали в металлических формах размером 20×20×20 мм и испытывали на гидравлическом прессе при постоянной скорости нагружения. Твердение осуществляли в нормальных влажностно-температурных условиях при температуре (20±2) °C и относительной влажности воздуха не менее 95 %.

Для исследования кинетики набора прочности комплексно-модифицированного цементного камня испытания проводили в возрасте 1, 3, 7, 14, 28 и 90 суток, что позволило сопоставить развитие прочности на ранних и поздних стадиях твердения.

2.3. Математическое моделирование

Для установления количественных закономерностей влияния компонентов бинарного микронаполнителя на свойства цементного вяжущего применяли математическое планирование эксперимента и регрессионный анализ. В качестве основных факторов рассматривали содержание микрокремнезема и тонкомолотого мраморного микронаполнителя, а в качестве выходных параметров – нормальную плотность цементного теста и прочность цементного камня.

Для математического описания экспериментальных зависимостей использовали полиномиальную модель второго порядка, учитывающую линейное, квадратичное и совместное влияние исследуемых факторов:

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

• где Y — прогнозируемое значение функции отклика (прочность при сжатии R_n и нормальная плотность цементного теста);

- b_0 — свободный член уравнения;
- b_i , b_{ii} , b_{ij} — коэффициенты линейных, квадратичных и парных взаимодействий факторов;
- x_i — кодированные значения независимых переменных.

Для оценки влияния полифункциональной добавки K1W дополнительно исследовали зависимость нормальной плотности, сроков схватывания и прочности цементного камня от ее дозировки. Полученные зависимости использовали для определения рационального содержания химической добавки в комплексно-модифицированном цементном вяжущем.

На основании полученных регрессионных уравнений строили поверхности отклика и линии равного уровня, характеризующие изменение исследуемых свойств в зависимости от содержания компонентов бинарного микронаполнителя. Это позволило определить область рациональных составов и установить характер совместного влияния микрокремнезема и мраморного микронаполнителя.

Адекватность математических моделей оценивали путем сопоставления расчетных и экспериментальных значений, а также по коэффициенту детерминации R^2 и

величине остаточных отклонений. Рациональный состав определяли на основе комплексного анализа математических моделей и экспериментальных результатов с учетом минимизации водопотребности и обеспечения требуемого уровня прочности цементного камня.

Применение математического моделирования позволило количественно оценить влияние отдельных компонентов и их взаимодействия, определить область рационального содержания бинарного микронаполнителя и полифункциональной добавки K1W, а также подтвердить экспериментально установленный оптимальный состав комплексно-модифицированного цементного вяжущего.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Влияние бинарного микронаполнителя на свойства цементного вяжущего

На первом этапе исследования изучалось влияние содержания и дисперсности компонентов бинарного микронаполнителя — микрокремнезема и тонкомолотого мраморного микронаполнителя — на технологические и физико-механические свойства цементного вяжущего. Экспериментальные исследования проводились на 25 составах с различным содержанием и удельной поверхностью компонентов. Основные результаты исследований представлены в таблице 1.

Для контрольного состава нормальная плотность цементного теста составляла 26 %. Введение мраморного микронаполнителя в количестве 15–20 % способствовало снижению нормальной плотности до 25 %. Данный эффект связан с улучшением гранулометрической упаковки твердых частиц и заполнением межзернового пространства более мелкими частицами мраморного наполнителя.

Введение микрокремнезема, напротив, сопровождалось увеличением водопотребности цементного теста. При содержании микрокремнезема 15–20 % нормальная плотность увеличивалась до 28–29 %. Это связано с высокой дисперсностью микрокремнезема и значительным увеличением удельной поверхности твердой фазы, требующей дополнительного количества воды для формирования пластичной цементной системы.

Изменение сроков схватывания также зависело от природы и содержания микронаполнителей. При увеличении содержания мраморного микронаполнителя до 20 % начало схватывания сокращалось с 140 до 120 мин, а конец схватывания — с 210 до 185 мин. Для микрокремнезема характер изменения был более сложным. При его содержании 5–10% наблюдалось ускорение структурообразования, тогда как дальнейшее увеличение содержания до 15–20 % приводило к некоторому замедлению процессов вследствие повышения водопотребности.



Таблица 1

Влияние бинарного микронаполнителя на свойства цементного вяжущего

Состав	МК, %	Дисп. МК, см ² /г	Мрамор, %	Дисп. мрамор, см ² /г	НГ, %	Начало, мин	Конец, мин	R ₂ , МПа	R ₇ , МПа	R ₂₈ , МПа	R ₉₀ , МПа
МК0_МА0	0	—	0	—	26	140	210	30,16	45,24	58,00	70,76
МК0_МА5	0	—	5	2563	26	135	200	30,81	46,22	59,25	72,28
МК0_МА10	0	—	10	2850	26	130	200	31,46	47,19	60,50	73,81
МК0_МА15	0	—	15	3220	25	125	190	32,11	48,16	61,75	75,33
МК0_МА20	0	—	20	3520	25	120	185	32,76	49,14	63,00	76,86
МК5_МА0	5	14500	0	—	27	150	220	32,50	48,75	62,50	76,25
МК5_МА5	5	14800	5	3050	27	145	215	33,15	49,73	63,75	77,77
МК5_МА10	5	15100	10	3300	26	135	200	33,80	50,70	65,00	79,30
МК5_МА15	5	15400	15	3550	26	130	200	34,45	51,68	66,25	80,83
МК5_МА20	5	15700	20	3900	26	125	195	35,10	52,65	67,50	82,35
МК10_МА0	10	15100	0	—	28	155	225	34,84	52,26	67,00	81,74
МК10_МА5	10	15300	5	3300	27	150	220	35,49	53,23	68,25	83,27
МК10_МА10	10	15500	10	3600	27	145	215	36,14	54,21	69,50	84,79
МК10_МА15	10	15620	15	3720	26	130	200	38,20	57,10	74,00	90,20
МК10_МА20	10	15800	20	3980	27	140	210	37,10	55,60	71,50	87,10
МК15_МА0	15	16200	0	—	28	160	230	33,28	49,92	64,00	78,08
МК15_МА5	15	16500	5	3200	28	150	225	33,93	50,90	65,25	79,61
МК15_МА10	15	16800	10	3500	28	150	220	34,58	51,87	66,50	81,13
МК15_МА15	15	17100	15	3750	28	145	215	35,23	52,84	67,75	82,66
МК15_МА20	15	17400	20	4000	27	135	210	35,88	53,82	69,00	84,18
МК20_МА0	20	17600	0	—	29	170	240	31,72	47,58	61,00	74,42
МК20_МА5	20	17800	5	3000	29	165	235	32,37	48,55	62,25	75,94
МК20_МА10	20	18000	10	3350	29	160	230	33,02	49,53	63,50	77,47
МК20_МА15	20	18200	15	3700	28	150	220	33,67	50,51	64,75	79,00
МК20_МА20	20	18400	20	4000	28	145	220	34,32	51,48	66,00	80,52

Наиболее существенные изменения были выявлены при исследовании прочности цементного камня. В возрасте 2 суток максимальная прочность при использовании бинарного микронаполнителя достигала 38,20 МПа по сравнению с 30,16 МПа для контрольного состава. В возрасте 7 суток соответствующие значения составляли 57,10 и 45,24 МПа.

В возрасте 28 суток прочность контрольного цементного камня составляла 58,0 МПа, тогда как для оптимального состава с бинарным микронаполнителем значение достигало 74,0 МПа. В возрасте 90 суток прочность увеличивалась до 90,20 МПа против 70,76 МПа у контрольного состава. Таким образом, применение бинарного микронаполнителя обеспечивало не только повышение ранней прочности, но и существенный прирост прочности на поздних стадиях твердения.

Наиболее эффективным было определено сочетание 10 % микрокремнезёма и 15 % мраморного микронаполнителя. При этом рациональная удельная поверхность микрокремнезёма составляла 15000–16000 см²/г, а мраморного микронаполнителя — 3300–3800 см²/г.

Повышение прочности при данном сочетании компонентов связано с совместным проявлением микронаполняющего и пуццоланового эффектов. Мраморный микронаполнитель способствует уплотнению упаковки частиц цементной системы, тогда как активный кремнезём взаимодействует с гидроксидом кальция с образованием дополнительных гидросиликатов кальция. В результате формируется более плотная структура цементного камня.

3.2. Математическое моделирование и

определение рационального состава

Для количественной оценки влияния компонентов бинарного микронаполнителя на свойства цементного вяжущего применялось математическое планирование эксперимента и регрессионный анализ.

В качестве варьируемых факторов рассматривались содержание микрокремнезёма, содержание мраморного микронаполнителя и их удельная поверхность. Функциями отклика являлись нормальная густота цементного теста и прочность цементного камня при сжатии.

Для описания экспериментальных зависимостей использовалась математическая модель второго порядка. Полученные регрессионные уравнения позволили определить влияние отдельных факторов, их квадратичных эффектов и совместного взаимодействия.

Для прочности цементного камня в возрасте 28 суток получено следующее уравнение:

$$R_{28} = 69.12 + 3.68x_1 + 2.84x_2 + 1.18x_1x_2 - 5.94x_1^2 - 1.76x_2^2,$$

где R_{28} — прочность цементного камня при сжатии в возрасте 28 суток, МПа;

x_1 — содержание микрокремнезёма;

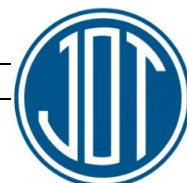
x_2 — содержание мраморного микронаполнителя.

Для нормальной густоты цементного теста получено уравнение:

$$НГ = 27.1 + 1.55x_1 - 0.85x_2 - 0.3x_1x_2 + 0.42x_1^2 + 0.15x_2^2,$$

где НГ — нормальная густота цементного теста, %.

Полученные математические зависимости использовались для построения поверхностей отклика и определения области рациональных составов.



Анализ поверхностей отклика показывает наличие выраженной области оптимума. Максимальные значения прочности соответствуют содержанию микрокремнезёма около 10 % и мраморного микронаполнителя около 15 %. Дальнейшее увеличение содержания микрокремнезёма приводит к повышению водопотребности, что ограничивает эффективность его дальнейшего введения.

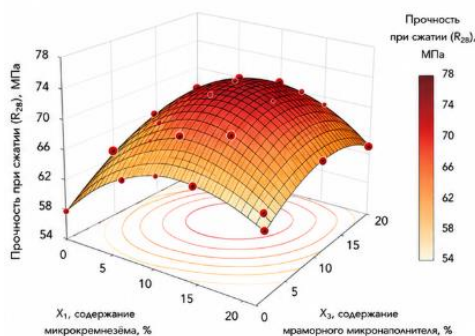


Рис. 1. Поверхность отклика зависимости прочности цементного камня в возрасте 28 суток от содержания микрокремнезёма и мраморного микронаполнителя

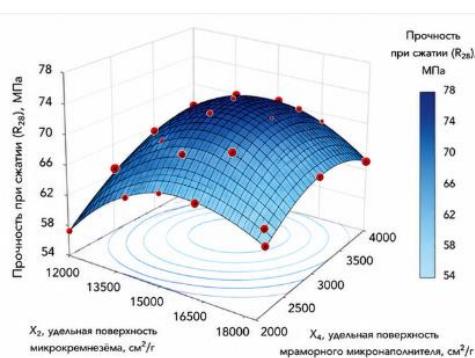


Рис. 2. Поверхность отклика зависимости прочности цементного камня от удельной поверхности микрокремнезёма и мраморного микронаполнителя

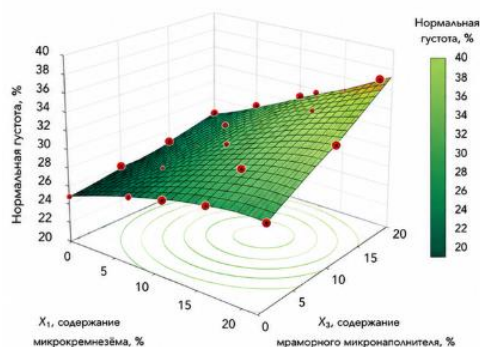


Рис. 3. Поверхность отклика зависимости нормальной плотности цементного теста от содержания микрокремнезёма и мраморного микронаполнителя

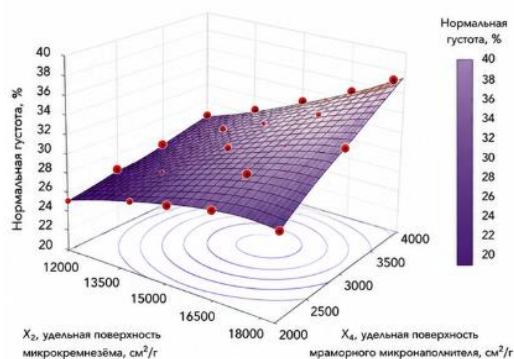


Рис. 4. Поверхность отклика зависимости нормальной плотности цементного теста от удельной поверхности компонентов бинарного микронаполнителя

Полученные результаты математического моделирования согласуются с экспериментальными данными. Это подтверждает адекватность выбранной модели и позволяет обосновать рациональный состав бинарного микронаполнителя.

Таким образом, математическое моделирование подтвердило, что оптимальное сочетание компонентов достигается при содержании 10 % микрокремнезёма и 15 % мраморного микронаполнителя.

3.3. Влияние полифункциональной добавки K1W на свойства цементного теста

На следующем этапе исследовалось влияние полифункциональной добавки K1W на технологические характеристики цементного теста. Содержание добавки изменяли в диапазоне от 0,3 до 1,5 % от массы вяжущего. Результаты представлены в таблице 2.

Для контрольного состава нормальная плотность составляла 26 %. При увеличении содержания K1W до 0,3 % она снижалась до 25 %, при 0,6 % — до 23 %, а при 0,9 % — до 22 %. При дальнейшем увеличении дозировки до 1,2–1,5 % нормальная плотность снижалась до 20 %.

Таким образом, добавка K1W обладает выраженным водоредуцирующим действием. Наиболее существенное снижение водопотребности наблюдается до дозировки 0,9 %, тогда как дальнейшее увеличение содержания добавки практически не приводит к дополнительному эффекту.

Таблица 2
Влияние дозировки K1W на нормальную плотность и сроки схватывания цементного теста

№	Состав	НГ, %	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
1	Контрольный состав	26	140	210
2	K1W (0,3 %)	25	145	225
3	K1W (0,6 %)	23	165	245
4	K1W (0,9 %)	22	175	250
5	K1W (1,2 %)	20	175	250

6	K1W (1,5 %)	20	175	250
---	----------------	----	-----	-----

Одновременно с изменением водопотребности изменялись сроки схватывания цементного теста. При увеличении содержания K1W начало и конец схватывания несколько увеличивались. Это свидетельствует о влиянии добавки на кинетику начальных процессов гидратации цемента.

Полученные результаты позволяют принять дозировку 0,9 % K1W в качестве рациональной для дальнейших исследований. Именно при данной концентрации достигается эффективное снижение водопотребности без существенного дополнительного увеличения дозировки химического модификатора.

3.4. Совместное влияние бинарного микронаполнителя и K1W на раннее структурообразование

Для определения характера совместного действия минерального и химического модификаторов исследовалась кинетика пластической прочности цементного теста. Сравнивались контрольный состав, состав с бинарным микронаполнителем, состав с K1W и комплексно-модифицированный состав.

Результаты представлены на рисунке 5.

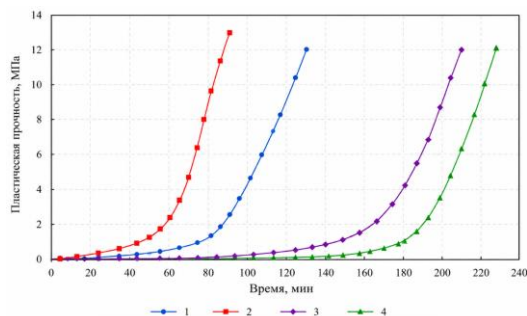


Рис. 5. Кинетика формирования пластической прочности цементного теста при различных способах модифицирования. 1 – Цемент + МК10 % + МА15 %; 2 – Контрольный состав; 3 – Цемент + МК10 % + МА15 % + K1W (0,9 %); 4 – Цемент + K1W (0,9 %)

Введение бинарного микронаполнителя способствует более интенсивному формированию начальной структуры цементного теста. Это связано с увеличением количества твердых частиц и центров кристаллизации гидратных новообразований.

При введении K1W наблюдается определенное замедление раннего структурообразования. Данный эффект может быть связан с адсорбцией компонентов химической добавки на поверхности цементных частиц и изменением скорости начальных гидратационных процессов.

В комплексно-модифицированной системе наблюдается сочетание указанных эффектов. На начальном этапе действие K1W несколько замедляет формирование структуры, однако в дальнейшем снижение водопотребности и присутствие высокодисперсных минеральных компонентов способствуют формированию более плотной цементной матрицы.

Таким образом, ранняя кинетика структурообразования и конечные прочностные

характеристики не всегда изменяются синхронно. Некоторое замедление раннего структурообразования в присутствии химической добавки компенсируется последующим более интенсивным развитием прочности.

3.5. Влияние комплексного модифицирования на кинетику набора прочности

Для оценки развития прочностных характеристик образцы цементного камня исследовали в возрасте 1, 3, 7, 14, 28 и 90 суток. Полученные результаты представлены на рисунке 6.

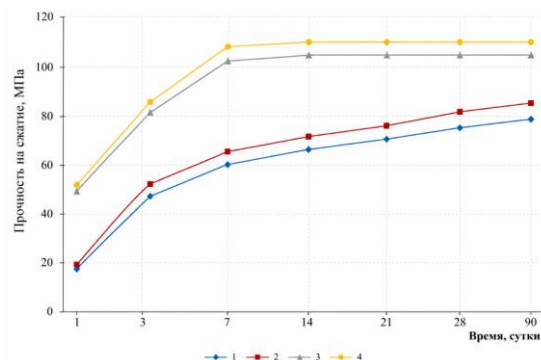


Рис. 6. Кинетика набора прочности цементного камня при различных способах модифицирования. 1 – Контрольный состав; 2 – Цемент + МК10 % + МА15 %; 3 – Цемент + K1W (0,9 %); 4 – Цемент + МК10 % + МА15 % + K1W (0,9 %)

Контрольный состав характеризуется наиболее низкими значениями прочности на всех исследованных этапах твердения. Введение бинарного микронаполнителя приводит к существенному увеличению прочности уже на ранних сроках твердения.

Применение K1W также обеспечивает повышение прочности цементного камня. Это связано прежде всего со снижением водопотребности цементной системы и уменьшением количества капиллярных пор после твердения.

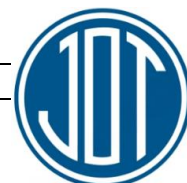
Наибольший эффект наблюдается при совместном использовании бинарного микронаполнителя и K1W. Комплексное модифицирование обеспечивает более высокую прочность по сравнению с контрольным и отдельно модифицированными составами.

В возрасте 28 суток прочность комплексно-модифицированного цементного камня достигает 74,0 МПа, а в возрасте 90 суток — 90,2 МПа. Полученные результаты свидетельствуют о продолжающемся структурном уплотнении цементного камня и развитии процессов гидратации на поздних сроках твердения.

Повышение прочности комплексно-модифицированного состава обусловлено синергетическим действием компонентов. K1W снижает водопотребность, а бинарный микронаполнитель обеспечивает физическое уплотнение структуры и дополнительное образование гидросиликатов кальция.

4. Заключение

В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния бинарного микронаполнителя и полифункциональной добавки



K1W на формирование структуры и свойств цементного вяжущего.

1. Установлено, что совместное применение микрокремнезёма и тонкомолотого мраморного микронаполнителя обеспечивает более эффективное изменение свойств цементного вяжущего по сравнению с их раздельным применением. Эффект обусловлен сочетанием пуццолановой активности микрокремнезёма и микронаполняющего действия мраморного компонента.

2. На основании экспериментальных исследований и математического моделирования определён рациональный состав бинарного микронаполнителя, включающий 10 % микрокремнезёма и 15 % мраморного микронаполнителя. Для данного состава рациональная удельная поверхность компонентов составляет 15000–16000 и 3300–3800 см²/г соответственно.

3. Установлено выраженное водоредуцирующее действие полифункциональной добавки K1W. Рациональной определена дозировка 0,9 % от массы вяжущего, при которой достигается эффективное снижение водопотребности без существенной необходимости дальнейшего увеличения содержания добавки.

4. Комплексное применение бинарного микронаполнителя и K1W обеспечивает формирование более плотной цементной структуры и повышение прочности цементного камня. При оптимальном составе прочность достигает 74,0 МПа в возрасте 28 суток и 90,2 МПа в возрасте 90 суток.

5. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают изменение фазового состава комплексно-модифицированного цементного камня, выражающееся в снижении количества свободного портландита и формировании дополнительных гидросиликатов кальция. Это подтверждает химическую составляющую механизма структурного уплотнения.

6. Математическое моделирование позволило количественно оценить влияние исследуемых факторов, установить область рациональных составов и подтвердить соответствие расчётных зависимостей экспериментальным результатам.

В целом комплексное модифицирование цементного вяжущего бинарным микронаполнителем и полифункциональной добавкой K1W представляет собой эффективный способ управления процессами структурообразования и формирования эксплуатационных характеристик цементного камня. Полученный подход соответствует принципам ресурсосберегающего и экологически ориентированного строительства за счёт рационального использования минеральных компонентов и повышения эффективности цементной системы.

Использованная литература / References

[1] Taylor H.F.W. Cement Chemistry. — 2nd ed. — London: Thomas Telford, 1997.

[2] Scrivener K.L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future // Cement and Concrete Research. — 2011. — Vol. 41. — P. 651–665.

[3] Мехта П.К., Монтейру П.Дж.М. Бетон. Микроструктура, свойства и материалы. — М.: АСВ, 2013.

[4] Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. — СПб.: Стройиздат СПб, 2006. — 696 с.

[5] Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Влияние структуры минеральных добавок на свойства модифицированных бетонов // Бетон и железобетон. — 2019. — № 2.

[6] Bonavetti V. et al. Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy // Cement and Concrete Research. — 2003. — Vol. 33. — P. 865–871.

[7] Lothenbach B. et al. Influence of limestone on the hydration of Portland cement // Cement and Concrete Research. — 2008. — Vol. 38.

[8] Wang D. et al. A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures // Construction and Building Materials. — 2018. — Vol. 181.

[9] De Weerd K. et al. Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash // Cement and Concrete Research. — 2011. — Vol. 41. — P. 279–291.

[10] Bentz D.P. et al. Limestone and silica powder replacements for cement: Early-age performance // Cement and Concrete Composites. — 2017. — Vol. 78. — P. 43–56.

[11] Holland T.C. Silica Fume User's Manual. — Federal Highway Administration, Washington, DC, 2005. — Report No. FHWA-IF-05-016.

[12] Каприелов С.С., Травуш В.И. и др. Особенности применения микрокремнезема в бетонах // Строительные материалы. — 2017. — № 10.

[13] Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. — 2008. — № 5. — С. 30–32.

[14] Aïtcin P.-C., Flatt R.J. Science and Technology of Concrete Admixtures. — Woodhead Publishing, 2015. — 640 p.

[15] Plank J. et al. The chemistry of polycarboxylate superplasticizers // Cement and Concrete Research. — 2015. — Vol. 78. — P. 136–147.

[16] Flatt R.J., Houst Y.F. A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers // Cement and Concrete Research. — 2001. — Vol. 31. — P. 1169–1176.

[17] Yamada K. et al. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer // Cement and Concrete Research. — 2000. — Vol. 30. — P. 197–207.

[18] Scrivener K.L. et al. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. — 2018. — Vol. 114. — P. 2–26.

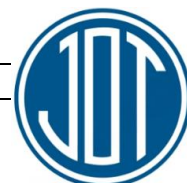
[19] Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 279 с.

[20] Adilkhodjaev A., Kadyrov I., Khasanov B., Radjabov M., Umarov I. Effect of binary microbrake based on "quartz+carbonate" additions on the properties of cement stone // AIP Conference Proceedings. DOI: 10.1063/5.0267412.



Информация об авторах/ Information about the authors

Адилходжаев Анвар Ишанович / Anvar Adilkhodjaev	Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор, https://orcid.org/0000-0001-5729-5178	Farhod Abdukadirov	https://orcid.org/0000-0003-2271-3768
Кадиров Илхом Абдуллаевич / Ilkhom Kadirov	DSc, профессор, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров иригации и механизации сельского хозяйства» https://orcid.org/0000-0003-3924-0864	Ниязбеков Саидмурад Саидрасулович / Saidmurad Niyazbekov	к.т.н., директор, Узбекско- японский молодежный центр инноваций при Ташкентском государственном техническом университете
Абдукадиров Фарход Эркинович /	PhD, доцент, Ташкентский государственный транспортный университет	Бабажанов Азиз Файзитдинович / Aziz Babajanov	докторант, Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: babajanov.aziz@gmail.com Tel.: +998909542901 https://orcid.org/0009-0002-7990-0206
		Камалов Азамат Хусниддинович / Azamat Kamalov	директор, «Ko'priksifatnazorat» ООО



Numerical analysis of tunnel lining for a metro station

A.I. Karshiboev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This paper presents a practical method for analyzing the deformation behavior of metro tunnel linings located in various soil types. The method is based on the finite element approach and employs a two-dimensional elasticity model to study the interaction between the tunnel structure and the surrounding ground. To accurately simulate stresses and deformations in the system, a combination of bar (truss) elements and isoparametric finite elements is applied. The computation process is automated using Excel-based software integrated with TurboPascal programs. The proposed model enables a detailed evaluation of the tunnel lining performance under static loads, including soil pressure and the self-weight of the structure. Comparison with analytical results confirms the reliability of the method and its applicability to the design and safety assessment of urban metro tunnel structures.

Keywords:

tunnel, strength, calculation methods, finite elements, construction

Metro bekati tunnel qoplamasini hisoblashning sonli usuli

Qarshiboyev A.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada turli xil grunt turlarida joylashgan metro tunnel qoplamalarining deformatsiyalanish xususiyatlarini tahlil qilishning amaliy usuli keltirilgan. Usul chekli elementlar yondashuviga asoslangan bo'lib, tunnel inshooti va uning atrofidagi grunt o'rtasidagi o'zaro ta'siri o'rganish uchun ikki o'lchovli elastiklik modelidan foydalanadi. Tizimdagi kuchlanish va deformatsiyalarni aniq simulyatsiya qilish maqsadida sterjen va izoparametrik chekli elementlarning kombinatsiyasi qo'llanilgan. Hisoblash jarayoni TurboPascal dasturlari bilan integratsiyalashgan Excel asosidagi dasturiy ta'minot yordamida avtomatlashtirilgan. Taklif etilayotgan model tunnel qoplamasining statik yuklar, jumladan grunt bosimi va konstruksiyaning xususiy og'irligi ta'sirida ish faoliyatini batafsil baholash imkonini beradi. Analitik natijalar bilan taqqoslash usulning ishonchlilikini va uni shahar metrosi tonnallari konstruksiyalarini loyihalash hamda xavfsizlik darajasini aniqlashdagi qo'llanilish imkoniyatini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar:

tunnel qoplamasi, metro stansiyasi, chekli elementlar usuli, kuchlanish-deformatsiya tahlili

1. Kirish

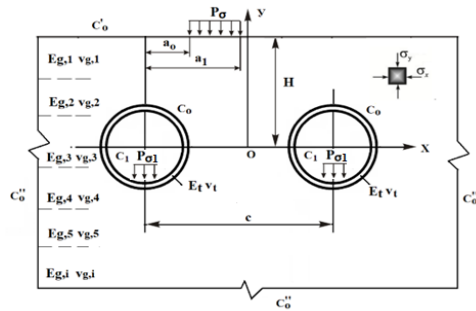
Hozirgi kunda metropoliten infratuzilmasi qurilishini rivojlantirish zamonaviy megapolislarda transport muammolarini hal etishning eng samarali vositasi hisoblanadi. Xususan, metro tunnel qoplamalari uchun yangi konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish hamda ularning konstruktiv mustahkamligini hisoblash usullarini takomillashtirish ushbu sohada yetakchi o'rinlarni egallaydi. Rivojlangan mamlakatlarda, jumladan aqsh, shveytsariya, janubiy koreya, rossiya, xitoy va o'zbekiston respublikasida transport inshootlarining mustahkamligi ilg'or zamonaviy loyihalash texnologiyalari va texnik vositalarni qo'llash orqali ta'minlanadi. Shu yo'nalishda sayoz metro tunnel qoplamalari uchun muqobil konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish hamda ularning har xil turdagi gruntlar bilan o'zaro ta'sirini modellashtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Xoy tekisligida joylashgan, ikki o'lchovli ω sohasi bilan ifodalanuvchi vaC_0' hamda C_0'' chegaralari bilan chegaralangan jismni ko'rib chiqamiz. Ushbu soha C_0' va C_1' konturlari bilan o'ralgan ikkita bo'shliqdan iborat. Mazkur konturlar ichida aylana halqalar (temirbeton konstruksiyalar) joylashgan bo'lib, ular tekis sohaning qolgan qismidan farqli fizik xususiyatlarga ega. O'z navbatida, ushbu qolgan qism ham turli fizik tavsiflarga ega bo'lgan muhitlardan (har xil turdagi gruntlardan) tashkil topgan bo'lishi mumkin.

^a <https://orcid.org/0000-0003-2755-2609>





1-Rasm Tekis relefdagi “grunt - tunnel qoplamasi” tizimining hisobiy sxemalari: c - tonnellar orasidagi masofa, H - chuqurlik, P_σ , $P_{\sigma 1}$ - tashqi kuchlar, C_0' va C_0'' - tekis soha chegaralari, C_0 - tunnel qoplamasining tashqi konturi, C_1 - tunnel qoplamasining ichki konturi, $E_{g,i}$ - tunnel qoplamasi materialining deformatsiya moduli va Poisson koeffitsiyenti, $E_{g,i}$ $\nu_{g,i}$ - tunnel atrofidagi har xil (bir jinsli bo'lmagan) grunt turlariga mos keluvchi deformatsiya modullari va Poisson koeffitsiyentlari

1-rasmda ko'rsatilganidek, masofa fazodagi tekis holatga keltiriladi, bunda soha mahkamlangan bo'lib, unga hajmiy kuchlar ta'sir qiladi, hamda P_σ va $P_{\sigma 1}$ kuchlar mos ravishda C_0' va C_1 chegaralarida qo'yilgan. Faraz qilaylik, ushbu kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan deformatsiyalar kichik bo'lsin, shuning uchun quyidagi asosiy tenglamalar o'rinli hisoblanadi [1]:

Muvozanat tenglamalari (statik tenglamalar):

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} = 0 \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau$$

Bu yerda $\bar{X}$ va $\bar{Y}$ hajmiy kuchlar sifatida qaraladi. Shu bilan birga, buni matritsa shaklida ham ifodalash mumkin.

$$A\vec{\sigma} + \vec{P} = 0$$

$$\text{Bu yerda } A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau], \quad \vec{P} =$$

$[\bar{X} \quad \bar{Y}]$

2. Deformatsiyalar va siljishlar orasidagi bog'lanishlar (geometrik tenglamalar)

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3)$$

$$\text{yoki } \vec{\varepsilon} = A^T \vec{U} \quad \text{bu yerda } A^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \vec{\varepsilon} =$$

$$[\varepsilon_x \quad \varepsilon_y]^T, \quad \vec{U} = [u \quad v]^T \quad (4)$$

3. Fizik tenglamalar (Guk qonuni)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (5)$$

yoki

$$\text{bu yerda } B = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$$

Shunday qilib, elastiklik nazariyasining chegaraviy (chek) shartlar bilan birga tenglamalarini quyidagi ko'rinishda yozish [3]:

$$A\vec{\sigma} + \vec{P} = 0$$

$$\vec{\varepsilon} = A^T \vec{U}$$

$$\vec{\varepsilon} = B\vec{\sigma}$$

Kontur bo'yicha kinematik chegaraviy shartlar:

$$\vec{U} = \vec{U}_u$$

C_0' va C_1 konturlaridagi statik chegaraviy shartlar
 C_0' va C_0'' konturlari bo'yicha kinematik chegaraviy shartlar:

$$U = U_u \quad (6)$$

C_0 va C_1 konturlaridagi statik chegaraviy shartlar:

$$A_{c0}\vec{\sigma} = \vec{P}_\sigma \quad (7)$$

$$A_{c1}\vec{\sigma} = \vec{P}_{\sigma 1} \quad (7, a)$$

bu yerda $\vec{U}_u$ - maydon chegarasi konturida berilgan

ko'chishlar vektori, $\vec{P}_\sigma$ $\vec{P}_{\sigma 1}$ - C_0 va C_1 konturlarida berilgan kuchlanishlar vektorlari, A_{c0} A_{c1} - yo'naltiruvchi kosinuslar matritsalarini.

(5) tizimining ikkinchi va uchinchi tenglamalaridan σ ni ifodalab chiqaramiz:

$$\sigma = B^{-1}A^T U$$

Bunda:

$$B^{-1} = D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Bu yerda D - turli muhitlar materiallarining fizik xususiyatlarini hisobga oluvchi Guk qonuni matritsasi.

Birinchi (2) tenglamaga σ ning qiymatini qo'yanimizda, elastiklik nazariyasining ko'chishlar bo'yicha quyidagi differensial tenglamasini matritsaviy shaklda olamiz:

$$ADA^T U + P = 0 \quad (9)$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + P_x = 0$$

yoki

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + P_y = 0$$

$$\Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} - \text{Lyame doimiylari}$$

Endi, variatsion masalani shakllantirishda (9) differensial tenglama va unga mos (6-7) chegaraviy shartlardan foydalanamiz. Shunda Lagranjning variatsion tamoyiliga asoslangan holda [5] ko'chishning kichik o'zgarishlaridagi ($\delta \vec{U}$) jismning to'liq potensial energiyasi uchun uning deformatsiyalanish potensial energiyasi va tashqi kuchlar bajargan ish yig'indisi ko'rinishida quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\delta \Pi + \delta \bar{A} = 0 \quad (10)$$

Endi jismning deformatsiyalanish potensial energiyasi ifodasiga variatsiya amalini qo'llaymiz:

$$\delta \Pi = \frac{1}{2} \int_\Omega \vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} d\Omega = \frac{1}{2} \int_\Omega \delta W d\Omega$$

Bu yerda δW - jismning solishtirma potensial energiyasini anglatadi. Shuni ta'kidlash joizki, ushbu holatda potensial energiya deformatsiyalarning funksiyasi bo'lib, ular o'z navbatida ko'chish maydoniga bog'liq hisoblanadi. Shu sababli, ko'p o'zgaruvchili murakkab funksiyani variatsiyalash qoidasidan foydalanish talab etiladi. Bunda ko'chishlar mustaqil variatsiyalanadigan funksiyalar sifatida, deformatsiyalar esa ko'chishlarga bog'liq bo'lgan variatsiyalanadigan funksiyalar tarzida qaraladi.

Shuningdek, shuni ta'kidlash lozimki, formal nuqtayi nazardan, matematik jihatdan funksiya variatsiyasini hisoblash amaliyoti funksiya differensialini hisoblash amaliyotiga ekvivalent hisoblanadi, ya'ni bir xil qoidalarga



ko'ra bajariladi. Buning natijasida δW uchun quyidagi ko'rinishdagi ifodani olish mumkin:

$$\delta W = \delta(\vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon}) = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} + \vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} \quad (11)$$

Bu yerda $\delta \varepsilon$ - deformatsiyalar vektorining variatsiyasi. Ko'paytma skalyar bo'ladi, demak:

$$\vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} = (\vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon})^T = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} \quad (12)$$

Keyingi (2.11) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\delta W = \delta(\vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon}) = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} + \vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} = 2 \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} \quad (13)$$

Shunday qilib, jismning deformatsiyalanish potensial energiyasining o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\delta \Pi = \int_{\Omega} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega \quad (14)$$

Tashqi kuchlar ishining o'zgarishi, ko'chish maydoni o'zgaruvchan mustaqil funksiya ekanligini hisobga olgan holda, nisbatning oddiy variatsiyalash yo'li bilan topiladi:

$$\delta A = - \int_{\Omega} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega - \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 \quad (15)$$

Bu yerda $\delta \vec{U}$ - siljish vektorining variatsiyasi.

Endi (14) va (15) ifodalarni potensial energiya o'zgarishi (10) formulasiga qo'yaylik. Shunda ko'chishlar vektorining haqiqiy o'zgarishlari tizimning to'liq energiya funksionaliga statsionar qiymat berishini ko'ramiz:

$$\delta \Pi = \int_{\Omega} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega - \int_{\Omega} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega - \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 = 0 \quad (16)$$

Ω , sohasida diskret modelni olish uchun $\{N_m(x, y)\}$ bo'lakli uzluksiz bazis funksiyalar tizimini va butun soha uchun Z_m tugunli ko'chishlarni kiritamiz [8]. Bu bazis funksiyalar shunday tanlanadiki, ular chegarasidagi masalaning kinematik chegaraviy shartlarini o'z-o'zidan qanoatlantiradi:

$$\vec{U} = \sum_{m=1}^M N_m(x, y) \cdot \vec{Z}_m \quad \text{yoki matritsali ko'rinishda}$$

$$\vec{U} = N \vec{Z}$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & \dots & 0 & N_m \\ 0 & N_1 & 0 & \dots & N_m & 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{Z} = [Z_1 \dots Z_m] \quad (17)$$

Bu yerda $m=1, \dots, M$ - bazis funksiyalar tugunlarining umumiy soni, ya'ni modellastiriladigan tizimning jami tugun soni hisoblanadi [58]. Modellastirish vaqtida:

1. Berilgan soha aniq chiziqlar yoki nuqtalar yordamida ma'lum miqdordagi chekli elementlarga ajratiladi.
2. Chekli elementlar cheklangan miqdordagi tugun nuqtalarida o'zaro bog'langan deb qaraladi.
3. Har bir chekli element uchun uning tugunlari xususiyatlari orqali element ichidagi qidirilayotgan tasnifni (masalan, ko'chishlarni) aniq belgilaydigan funksiya beriladi.

Ushbu bo'linishga muvofiq, potensial energiya va tashqi kuchlar ishi ifodalari tarkibidagi hajmiy va sirt bo'yicha integrallar chekli elementlar bo'yicha integrallar yig'indisiga teng bo'ladi. Shunga ko'ra, (2.16) integral munosabati quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\delta \Pi = \sum_{e=1}^{R_e} \left(\int_{\Omega_e} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega_e - \int_{\Omega_e} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega_e \right) - \sum_{e=1}^{R_e} \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \sum_{e=1}^{R_e} \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 = 0 \quad (18)$$

Bu yerda R_e - chekli elementlarning umumiy soni, R_e^* - esa soha chegarasiga chiquvchi chekli elementlar soni hisoblanadi. Element doirasidagi asos funksiyalar uchun

ko'chish maydoni quyidagi interpolyatsiya munosabatlari yordamida aniqlanadi:

$$\vec{U}^{(e)} = \sum_{i=1}^n N_i^{(e)}(x, y) \cdot \vec{Z}_i$$

$$\text{yoki matritsali ko'rinishda} \quad \vec{U}^{(e)} = N^{(e)} \vec{Z} \quad (19)$$

Element shaklining bazis funksiyalari, element tugunlari sonini anglatadi. (19) ifodani (18) ga qo'yib, ba'zi o'zgartirishlarni amalga oshirgach va umumiy yig'indini hisoblagach, natijada quyidagi ko'rinishdagi tenglamalar tizimini olamiz:

$$\delta \vec{Z}^T K \vec{Z} - \delta \vec{Z}^T \vec{P} - \delta \vec{Z}^T \vec{P}_{\sigma} - \delta \vec{Z}^T \vec{P}_{\sigma 1} = 0 \quad (20)$$

Bundan quyidagini olamiz:

$$K \vec{Z} - \vec{P} - \vec{P}_{\sigma} - \vec{P}_{\sigma 1} = 0 \quad (21)$$

Tugun ko'chishlarining umumiy vektoriga nisbatan chekli elementlar tenglamalar tizimining yechimini quyidagi usulda olamiz:

$$K \vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_{\sigma} + \vec{P}_{\sigma 1} \quad (22)$$

Bu yerda K - tizimning bikrlilik matritsasi, $\vec{P}_{\sigma}$ va $\vec{P}_{\sigma 1}$ - tizimning chegaraviy tugunlariga mos ravishda ta'sir qiluvchi tashqi yuklar vektori elementlarning umumiy Chekli elementlar usuli yordamida KDH ni tahlil qilish statik muvozanat shartlarini qanoatlantiradi va elastiklik xususiyatlari, bir jinsli emaslik hamda geometrik shakllarning o'zgarishi tufayli yuzaga keladigan kuchlanishlar o'zgarishini baholash imkonini beradi. Sohaning o'z og'irligi va uning chegaralaridagi tashqi kuchlardan kelib chiqqan holda har bir tugun nuqtasidagi kuchni aniqlash orqali, umumiy bikrlilik matritsasiga asoslangan qo'shma tenglamalar tizimini har bir tugun nuqtasining ko'chishiga nisbatan yechish mumkin bo'ladi.

Tonnel qoplamasi konstruksiyalari o'z massasi vaznidan, ustida joylashgan grunt qatlamlarining bosimidan, shuningdek grunt massasining gorizontaal va vertikal tashqi bosim ta'siridan deformatsiyalanadi.

Chekli elementlar usulining qoidasiga binoan tunnel konstruksiyasi bir qancha kichik elementlarga bo'linadi va ushbu elementlar bir-birlari bilan tugunli nuqtalarda birikadilar. Bunday metodologiya inshootni fizik diskretlash deyiladi. Hisoblash modelida kerakli darajada tunnel qoplamasi konstruksiyasi va atrofidagi bir jinsli bo'lmagan gruntlarning real xossalari e'tiborga olishi lozimdir.

Har bir element uchun (5) formulasini qo'llash va ularni bir-biri bilan bog'lash orqali (barcha elementlar bo'yicha), tunnel konstruksiyasi va grunt muhitidagi holatni tasvirlaydigan birinchi darajali tenglamalar tizimini olamiz va tugun nuqtalaridagi ko'chishlar orqali elementlar ichidagi deformatsiya va kuchlanish qiymatlarini aniqlaymiz.

Chekli elementlar usuli orqali "grunt - tunnel qoplamasi" tizimini kuchlanganlik-deformatsiyalanish holatini tekshirishda quyidagi tahlil tartibini keltiramiz [10]:

1) Konstruksiyani chekli elementlarga bo'lish orqali hisoblashning fizik modelini yaratish.

2) Elementlarning lokal bikrlilik va tashqi kuchlar vektori matritsalarini qurish.

3) Tizimning global bikrlilik va tashqi kuchlar vektori matritsalarini qurish.

4) Tonnel qoplamasi konstruksiyalari va grunt muhitidagi holatni tasvirlaydigan birinchi darajali tenglamalar tizimini yechish.

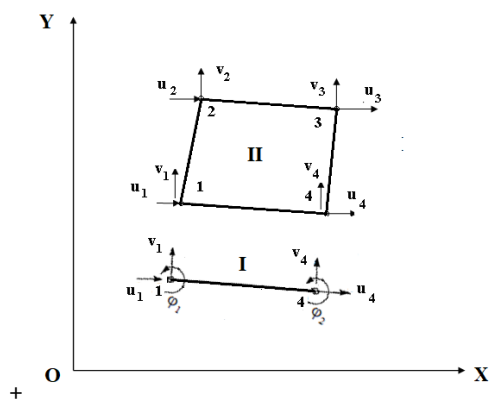
5) (5) formulalar bo'yicha elementlardagi kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.



Mavjud “qoplama-grunt” tizimini modellashtirishda Y. Shmelter, M. Datsko, S. Dobrochinskiy, M. Vechoreklar tomonidan keltirilgan kombinatsiyalashgan (aralash konstruksiyalar) dan iborat chekli elementlar tizimi tushunchasini kiritamiz [8]. Bunda tunnel qoplamasini 2 ta tugunli sterjenli va grunt massivini 4 tugunli izoparametrik chekli elementlar bilan diskretlaymiz va kombinatsiyalashgan tizimda elementlar birlashishida (murakkab) tugunlar hosil bo‘lish prinsipini e‘tiborga olamiz, ya‘ni tunnel qoplamasi va grunt elementlarining bir koordinatada birlashishi 2 ta tugun orqali ifodalanadi (2-rasm) [7]. Bugungi kunda keng ishlatilayotgan LIRA, MIDAS Civil va ANSYS hamda boshqa bir qancha chekli elementlar usuliga asoslangan muhandislik hisob-kitoblari uchun kuchli dasturiy ta‘minot majmualarida ushbu prinsip shakllantirilgan [6]. Ixtiyoriy izoparametrik chekli elementni qurishning umumiy konsepsiyasiga binoan, biz ushbu turdagi elementlarning geometriyasiga mos keladigan tabiiy lokal koordinatalar tizimini hisobga olamiz va ularning bikrlilik matritsalarini [9] larda keltirilgan ma‘lum bo‘lgan ifodalardan aniqlaymiz. Masalan, sterjenli element uchun, uning bikrlilik matritsasini quyidagicha keltirish mumkin:

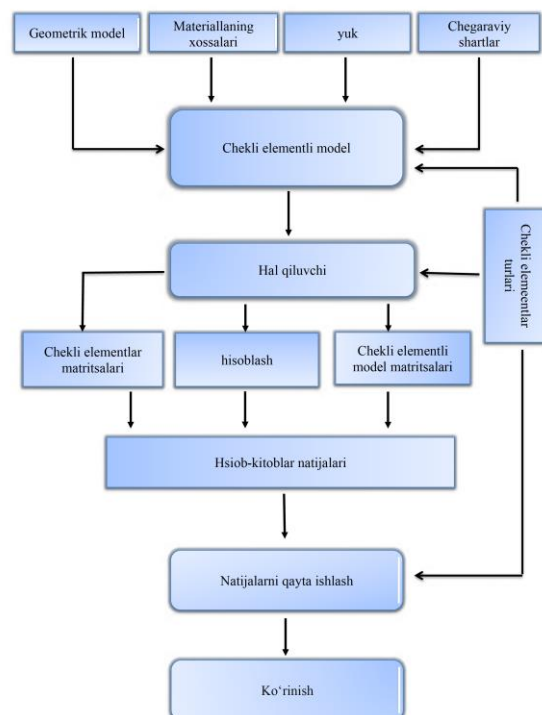
$$[k]^e = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & 0 & 0 & -\frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EF}{l} & 0 & 0 & \frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Bu yerda E - sterjen materialining elastiklik moduli, I , F - sterjen ko‘ndalang kesimining inersiya momenti va yuzasi, l - sterjenning uzunligi.



2-Rasm. Modellashtirishda ishlatiluvchi chekli elementlar: I – sterjenli element, II – izoparametrik yassi element

Ishlab chiqilgan tunnel konstruksiyalarini statik ta‘sirlar ostidagi real muhitdagi grunt bilan o‘zaro ta‘sirini e‘tiborga oluvchi usulning algoritmi 3-rasmda keltirilgan. Dasturlash paketida masalalar aniq algoritim-sxema orqali olib boriladi. Ushbu sxema o‘rnatilgan vazifalarni bajaradi va yuqorida keltirilgan ifodalarga mos tushadi. Tizimning differensial tenglamalari algebraik tenglamalar tizimiga almashtirilishi bilan ishlab chiqilgan algoritmlar asosida har bir alohida masala uchun hisoblash jarayonlari boshlab yuboriladi.



3- Rasm. Dasturlash paketidagi masalani yechish algoritmi

Ko‘rilayotgan masalalarda tashqi kuchlar chegaraviy shartlariga berilgan sohaning yuklangan yoki kuchdan ozod tugunlari kiradi. Kinematik shartlarga esa bog‘langan tugunlar kiradi. Yaratilgan paket yordamida hisoblash ishlarini bajarishda konstruksiyaning chekli elementli modelini kiritish uchun umumiy axborotni jamlash zarur bo‘ladi. Bu yerda tugun komponentlari kodlari chegaraviy shartlar uchun ikki xil qiymatni olishi mumkin, ya‘ni 0 va 1. Agar u shartlar 0 qiymatini olsa, u xolda bu tugunlar har qanday bog‘lanishlardan ozod bo‘ladilar, ammo agar 1 qiymatga ega bo‘lsa, unda ushbu tugunning belgilangan erkinlik darajasi bo‘yicha chegaraviy shartlar qo‘yiladi va bu yerda nolga teng bo‘lgan kinematik ko‘chish shartlari bajariladi. Dastur paketi “Excel-ilova” ko‘rinishida amalga oshirilgan, ya‘ni barcha hisoblash modullarini boshqarish Excel dasturidan bajariladi. Bunday tizimning tanlanishi quyidagi sabablar bilan izohlanadi:

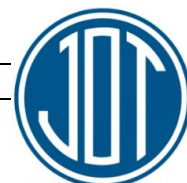
1. Chekli elementlarga ajratish, bikrlilik matritsasini qurish va chiziqli tenglamalar tizimini yechish dasturlari Microsoft Office muhitida Delfi tilida alohida bajariladigan fayllar ko‘rinishida ishlab chiqilgan. Excel dasturida o‘rnatilgan Visual Basic for Application (VBA) mavjud bo‘lib, u diskdagi fayllarni ishga tushirish buyruqlarini o‘z ichiga oladi. Shu sababli, masalani yechish jarayonini boshqarishning barcha bosqichlari ushbu dasturlarida amalga oshirildi.

2. Excel dasturi muhandislar uchun qulay bo‘lgan chizish va jadval ma‘lumotlarini kiritish funksiyalarini o‘z ichiga oladi;

3. Ko‘chma grafik va raqamli natijalar bevosita jadvalga kiritiladi.

4. Natijalarni chiqarish Excel dasturiga o‘rnatilgan funksiyalar yordamida amalga oshiriladi.

5. Hisoblash yakunlangach, jadvalda boshlang‘ich ma‘lumotlar va hisoblash natijalari haqidagi barcha axborot



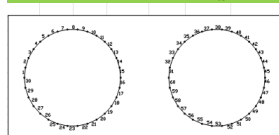
mavjud bo'ladi, shu sababli Excel dasturi funksiyalarida hisobot tayyorlash ishlari bajaradi.

Ishlab chiqilgan dastur bo'yicha tonnellarini hisoblash quyidagi bandlardan iboratdir:

1. "Excel-ilova" bo'yicha fizik-mexanik ma'lumotlarni kiritish (4-rasm). Bunda kiritilgan ma'lumotlarning to'g'riligini tekshirish mumkin.

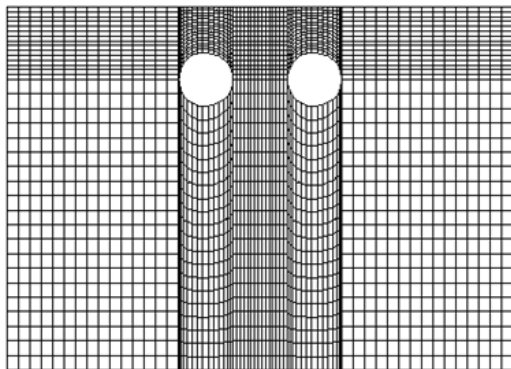
GRUNT LAR N I N G F I Z I K - M E X A N I K X O S S A L A R I							Y U R I S H T O N N E L L A R I		
N	H, m	E, MPa	ν	C, MPa	ϕ	γ , MPa/m	CHUQURLI	H=	15,0
1	2	4,2	0,32	0,4	7	18,2	RADII	r=	2,68
2	4	10,7	0,32	2,4	12	17,1	MASOFA	L=	12,9
3	7	13,8	0,28	4,6	15	18,7			
4	20	16,5	0,28	11,2	17	19,4			
5	40	16,5	0,28	11,2	17	19,4			

STERJENLI ELEMENTLAR RAQAMLARI



4-Rasm. "Grunt - tunnel qoplamasi" tizimidagi hisoblash dasturining umumiy ko'rinishi (namunaviy)

2. "Chekli elementlar to'rini tuzish" bo'yicha diskdan "Tonl.exe" dasturi ishga tushadi - bu dastur berilgan sohani chekli elementlarga ajratishni bajaradi.



5-Rasm. Sohani chekli elementlarga ajratish

Bu dasturda hisoblash geometriyasi usullari qo'llaniladi, xususan egri chiziqni berilgan miqdordagi qismlarga bo'lish usuli keng foydalaniladi. Ushbu yondashuvning mohiyati quyidagicha: ikkita chiziq (siniq yoki egri chiziqlar) beriladi va ular teng miqdordagi qismlarga bo'linadi. So'ngra bu chiziqlardagi mos nuqtalarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziqlar o'tkaziladi va ular ham berilgan miqdordagi qismlarga bo'linadi [22].

Tugunlar va elementlarni raqamlash, chegaraviy shartlarni hisobga olish, har bir chekli element uchun fizik xususiyatlarni aniqlash, o'z og'irligi va sirt kuchlaridan kelib chiqadigan yuklamani belgilash "Tonl_t.exe" dasturi orqali amalga oshiriladi. 2.5-rasmda konstruksiyaning chekli elementlarga bo'linishi tasvirlangan. Bu yerda turli fizik xususiyatlarga ega bo'lgan elementlar har xil ranglarda bo'yalishi mumkin.

1-jadval

Hisoblash usullarini solishtirma tahlili

Teshik chekkasidagi kuchlanishlar	M. Sekulovich usulidagi yechim	Zenkevich usulidagi yechim	Takomillashtirilgan usul bo'yicha olingan yechim
-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------	--

σ_x (MPa)	1,000	0,996	0,996
σ_y (MPa)	3,000	2,899	2,899

"Tonl_sorcord.exe" bu dasturi tizim matritsasining minimal kengligini ta'minlash uchun koordinatalarni qayta raqamlaydi. Bu jarayon shunday bajariladi: tugunlar konstruksiyaning uzun tomoni bo'ylab, bir chekkasidan boshqa chekkasigacha ketma-ketlikda raqamlanadi.

"Tonl_sort2.exe" dasturi global koordinatalar tizimidagi chekli elementlarni saralaydi. Bu jarayon bikrluk matritsasini tuzish va tenglamalar tizimini Gauss usuli bo'yicha yechishga tayyorlashni amalga oshiradi.

Dasturlar o'rtasidagi bog'lanish kiritilgan ma'lumotlar fayllari orqali amalga oshiriladi.

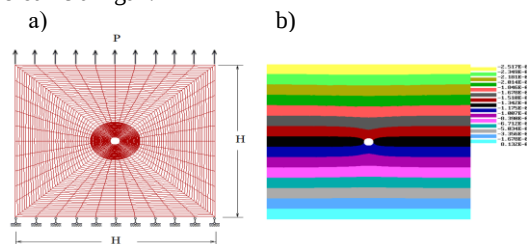
3. "Masalani yechish" bandi orqali tizim global bikrluk matritsasi tuziladi, chiziqli tenglamalar tizimi yechiladi va gruntidagi kuchlanishlar aniqlanadi.

4. "Kuchlanish izoxromlari" bandi bo'yicha σ_x , σ_y , τ_{xy} kuchlanishlarining izochiziqlarini qurish zarur bo'lganda bajariladi.

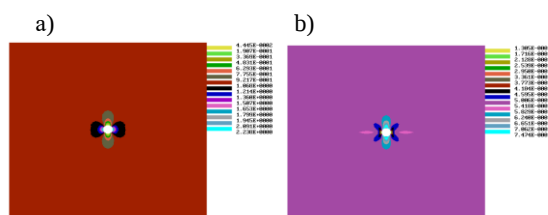
5. "Tunnel qoplamasidagi kuch epyuralari" bandi orqali eguvchi moment, ko'ndalang va normal kuchlar epyuralarini qurish ishlari amalga oshiriladi va hisoblash natijalari jadvali tuziladi.

Yassi sohada joylashgan aylana shaklidagi teshigi bo'lgan sohaning (plastina) $P=1$ MPa miqdoridagi yoyilgan yuklama ostidagi cho'zilish masalasini ko'rib chiqamiz (2.6-rasm, a).

Sohaning fizik xususiyatlari quyidagicha: $E=300000$ MPa, $\nu=0,35$, $H=40$ m, $D=2$ m. Soha materiali metall plastinkadan iborat. 2.6-2.7-rasmlarda bosh kuchlanishlarning vektor maydoni hamda chekli elementlar markazida hisoblangan maksimal σ_x va σ_y kuchlanish qiymatlari izoxromlari ko'rsatilgan. 1-jadvalda esa plastina bo'shlig'ining chekkasida olingan maksimal kuchlanishlar qiymatlari boshqa mavjud yechimlar bilan taqqoslangan holda keltirilgan.



6-Rasm. Aylani shaklidagi teshigi bo'lgan soha (a) va hisoblash natijalaridan olingan vertikal ko'chishlar maydoni (b)



7-Rasm. Maksimal kuchlanishlarning izoxromlari, MPa: a - σ_y kuchlanishi, b - σ_x kuchlanishi

3. Xulosa

Olingan natijalarning qiyosiy tahlili ishlab chiqilgan hisoblash usulining to'g'riligini ko'rsatadi va keyingi tadqiqotlarni o'tkazish imkonini beradi.

Maqolada qurilish mexanikasining zamonaviy usullariga asoslangan holda sayoz metro tunnel qoplamalari va ularni o'rab turgan har xil grunt turlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirni hisobga oluvchi hisoblash metodi taklif etilgan.

Grunt yuklari ta'sirida konstruksiyalarda yuzaga keladigan deformatsiya va ichki kuchlanishlarni modellashirishning amaliy usullari hamda ularning sonli ifodalarini aniqlash mezonlari keltirilgan. Mazkur yondashuvda tuproq uzluksiz muhit mexanikasi - elastiklik qonuniyatlarini asosida tavsiflanadi, tunnel konstruksiyasi esa atrofdagi muhit bilan birgalikda deformatsiyalanuvchi tekis tizim sifatida qaratiladi. Model har bir grunt qatlamining fizik xususiyatlarini hamda tunnel doimiy qoplamasining konstruktiv xarakteristikalarini hisobga oladi. "Grunt - qoplama" tizimini chekli elementlar usulida hisoblash varianti uchun tekis sohaning hisobiy sxemasi ishlab chiqilgan bo'lib, tunnel konstruksiyasi qalinligi 1,0 m va geometrik mustahkamlik sinfi I ga ega bo'lgan ixtiyoriy shakldagi tekis elementlar majmui sifatida modellangan.

Doimiy va vaqtinchalik yuklar ta'sirida konstruksiya kesimlaridagi ichki zo'riqlashlarni aniqlash uchun tahliliy tartib berilgan.

Hisoblash metodining ishonchligini tekshirish maqsadida bir qator model masalalar yechilib, ularning natijalari aniq analitik yechimlar bilan solishtirildi. Bunda maydon materialining plastik xossalari shartli ravishda inkor etildi va faqat elastik sohada kuchlanishlar aniqlandi. Bosh kuchlanishlarning vektor izoxromalari chekli elementlar markazlarida qurildi. Olingan natijalar amaliy ma'lumotlarga yaqin bo'lib, bu ishlab chiqilgan metodning yuqori aniqlik darajasini tasdiqlaydi.

Natijalarning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan hisoblash usuli har xil grunt sharoitidagi sayoz aylana metro tunnel qoplamalarining kuchlanish-deformatsiya holatini o'rganishda samarali qo'llanilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Z. Z. Wang and Z. Zhang, "Seismic damage classification and risk assessment of mountain tunnels with a validation," *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 45, 45–55 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.11.002>
- [2] Chaotic Dynamics and Control of Systems and Processes in Mechanics, Proc. IUTAM Symp., Rome, June 2003, p. 459.
- [3] M. Miralimov, Sh. Sh. Shojalilov, A. Karshiboev, and D. Usmanov, "Calculation method of reinforced concrete structures with account of nonlinear deformation of the material," *AIP Conf. Proc.* 3045, 030078 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0197797>
- [4] M. Kh. Miralimov, S. Normurodov, M. Akhmadjonov, and A. I. Karshiboev, "Numerical approach for structural analysis of Metro tunnel station," *E3S Web Conf.* (2021). [Scopus Author ID: 58578202800]
- [5] P. P. Oreste, "A numerical approach to the hyperstatic reaction method for the dimensioning of tunnel supports," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 22(2), 185–205 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.tust.2006.05.007>
- [6] Никольский Б.В. Тоннели третьего кольца - крупнейшие подземные сооружения Москвы // *Метро и тоннели*. - 2001. - № 2. - С. 2-5.
- [7] Климов Д.В. Кутузовская транспортная развязка // *Подземное пространство мира*. - 2000. - № 5-6. - С. 25-27.
- [8] Панкина С.Ф. Транспортные тоннели на площади Гагарина в Москве // *Подземное пространство мира*. - 2000. - № 4. - С. 8-30.
- [9] Варшавский В.В. Особенности строительства транспортных тоннелей // *Метро и тоннели*. - 2001. - № 3. - С. 28-30.
- [10] Фролов Ю.С., Саламех А. Сборные железобетонные обделки при проходке тоннелей щитами // *Подземное пространство мира*. - 2001. - № 3. - С. 38-43.

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

Qarshiboyev
Abdullaziz Ixtiyor
o'g'li / Ikhtiyor
Karshiboev

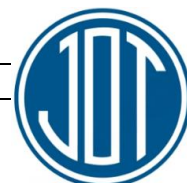
Toshkent davlat transport
universiteti "Avtomobil
yo'llarini qidiruv va
loyihalash" kafedrası katta
o'qituvchisi.

E-mail:

Laziz_22_92@mail.ru

[Tel.: +998994022032](tel:+998994022032)

<https://orcid.org/0000-0003-2755-2609>



Improving energy performance through the application of single-phase capacitor asynchronous electric motors in auxiliary circuits of electric rolling stock

U. Berdiev¹, G. Kahhorova¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes the potential for improving the energy efficiency of single-phase capacitor asynchronous electric motors used in the auxiliary circuits of electric rolling stock. In railway transport, the electricity consumption of auxiliary mechanisms, including fans, compressors, pumps, and cooling systems, constitutes a significant portion of total energy consumption. Improving the technical and energy performance of the electric motors used in these devices is one of the important factors in ensuring energy efficiency. In this study, the operating principle of single-phase capacitor asynchronous motors and their effects on the power factor and efficiency were theoretically investigated. The results demonstrated that the use of these motors in auxiliary circuits can reduce electricity consumption and improve the overall efficiency of the system.

Keywords: electric rolling stock, auxiliary circuits, induction motor, capacitor, energy efficiency, power factor, electric drive, railway transport

Elektr harakat tarkiblari yordamchi zanjirlarida bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarni qo'llash asosida energetik ko'rsatkichlarni oshirish

Berdiyev U.¹, Qahhorova G.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Mazkur maqolada elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida qo'llaniladigan bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarning energetik samaradorligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Temir yo'l transportida yordamchi mexanizmlar, jumladan ventilyatorlar, kompressorlar, nasoslar va sovutish tizimlarining elektr energiyasi iste'moli umumiy energiya sarfining muhim qismini tashkil etadi. Ushbu qurilmalarda qo'llaniladigan elektr motorlarning texnik va energetik ko'rsatkichlarini yaxshilash energiya tejamkorligini ta'minlashning muhim omillaridan biridir. Tadqiqot davomida bir fazali kondensatorli asinxron motorlarning ishlash prinsipi, quvvat koeffitsiyenti va foydali ish koeffitsiyentiga ta'siri nazariy jihatdan o'rganildi. Natijalar yordamchi zanjirlarda ushbu motorlardan foydalanish elektr energiyasi sarfini kamaytirish va tizimning umumiy samaradorligini oshirish imkonini berishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: elektr harakat tarkibi, yordamchi zanjir, asinxron motor, kondensator, energiya samaradorligi, quvvat koeffitsiyenti, elektr yuritma, temir yo'l transport

1. Kirish

Temir yo'l transportini elektrlashtirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish bugungi kunda transport tizimini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Elektr harakat tarkiblarida tortuv tizimlari bilan bir qatorda yordamchi elektr qurilmalar ham muhim ahamiyatga ega bo'lib, ular harakat xavfsizligi va yo'lovchilarga qulay sharoit yaratishda muhim vazifalarni bajaradi [1, 5].

Yordamchi zanjirlar tarkibiga ventilyatsiya tizimlari, kompressor agregatlari, sovutish qurilmalari, yoritish

tizimlari va boshqa iste'molchilar kiradi. Mazkur qurilmalarning uzluksiz ishlashi sezilarli miqdorda elektr energiyasi sarflanishiga olib keladi. Shu sababli yordamchi elektr yuritmalarning energiya samaradorligini oshirish dolzarb ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi [1, 3, 5].

Bir fazali asinxron elektr motorlar konstruksiyasining soddaligi, ekspluatatsion ishonchiligi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarining nisbatan pastligi bilan ajralib turadi. Biroq ularning asosiy kamchiliklaridan biri ishga tushirish momentining kichikligi hamda quvvat koeffitsiyentining pastligidir. Ushbu kamchiliklarni bartaraf

 <https://orcid.org/0000-1234-5678-9101>



etish maqsadida kondensatorlardan foydalanish keng qo'llaniladi [7, 9]. Kondensator yordamida qo'shimcha faza siljishi hosil qilinib, statorda aylanuvchi magnit maydon yuzaga keladi. Natijada motorning ishga tushirish xususiyatlari yaxshilanadi, quvvat koeffitsiyenti ortadi hamda energiya yo'qotishlari kamayadi.

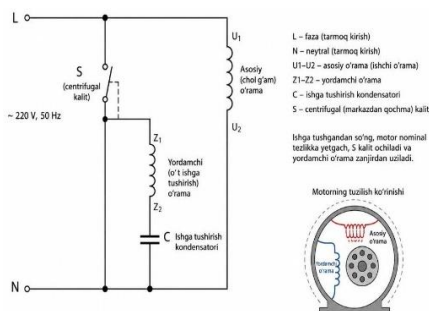
Tadqiqotning maqsadi elektr harakat tarkiblari yordamchi zanjirlarida bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarni qo'llashning energetik samaradorlikka ta'sirini nazariy jihatdan tahlil qilish va ularning afzalliklarini asoslashdan iborat [5, 8, 9].

Adabiyotlar tahlili

Elektr mashinalarining energetik samaradorligini oshirish va ularning ish rejimlarini takomillashtirish masalalari zamonaviy elektrotexnikaning muhim yo'nalishlaridan biridir. Fitzgerald, Kingsley va Umans [1] hamda A.I. Voldek [2] asarlarida asinxron elektr motorlarning ishlash prinsipi, energetik ko'rsatkichlari va yuklama rejimlari batafsil yoritilgan. Elektr harakat tarkiblarining elektr jihozlari va elektromexanik tizimlarini takomillashtirish masalalari U.T. Berdiyev va hammualliflar tomonidan o'rganilgan [3]. U.T. Berdiyevning tadqiqotlarida energiya samarador elektr motorlar, ularning konstruksiyasi va yangi materiallardan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan [4, 13]. Shuningdek, asinxron motorlarni sinovdan o'tkazish va energiya tejamkor yuklama sxemalarini qo'llash masalalari tadqiq etilgan [5].

Elektr harakat tarkiblarining yordamchi agregatlarida bir fazali asinxron va kondensatorli motorlardan foydalanish, ularni boshqarish hamda ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash bo'yicha tadqiqotlar [6, 7] da keltirilgan. Energiya tejamkor elektr mashinalarini yaratish muammolari [8], asinxron motorlarning elektromagnit parametrlarini yaxshilash masalalari esa [9] da ko'rib chiqilgan. Asinxron motorlarni matematik modellash [10] va ularning texnik parametrlarini aniqlash [11] bo'yicha tadqiqotlar ham mavjud.

Tahlil qilingan adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, asinxron elektr motorlarning energetik samaradorligini oshirishda konstruktiv parametrlarni takomillashtirish, kondensatorlardan foydalanish, boshqaruv usullarini optimallashtirish va magnit materiallarni to'g'ri tanlash muhim ahamiyatga ega [4, 7, 13]. Biroq elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida **bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarning quvvat koeffitsiyenti, foydali ish koeffitsiyenti va elektr energiyasi iste'molini kompleks baholash** masalasi yetarlicha yoritilmagan. Shu sababli mazkur tadqiqotda ushbu motorlardan foydalanish orqali yordamchi zanjirlarning energetik ko'rsatkichlarini oshirish imkoniyatlari o'rganiladi.



1-rasm "Bir fazali kondensatorli asinxron motorning prinsipial sxemasi"

2. Tadqiqot metodologiyasi

Elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida qo'llaniladigan bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarning energetik ko'rsatkichlarini baholash uchun nazariy tahlil va qiyosiy taqqoslash usullaridan foydalanildi. Tadqiqot obyekti sifatida yordamchi elektr yuritmalarda ishlatiladigan bir fazali asinxron motorlar qabul qilindi [6, 8, 10].

Bir fazali asinxron motorlarda stator chulg'amidan oqayotgan tok magnit maydon hosil qiladi. Biroq bunday maydon mustaqil ravishda aylanuvchi magnit maydon hosil qila olmaydi. Shu sababli qo'shimcha chulg'am va kondensator yordamida fazalar siljishi hosil qilinadi. Natijada aylanuvchi magnit maydon yuzaga kelib, motorning ishga tushish va ish rejimidagi ko'rsatkichlari yaxshilanadi.

Motorning energetik samaradorligini baholashda foydali ish koeffitsiyenti va quvvat koeffitsiyenti asosiy mezon sifatida qabul qilindi [10, 12].

Foydali ish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

bu yerda: η - foydali ish koeffitsiyenti, %; P_1 - tarmoqdan iste'mol qilinadigan quvvat, W; P_2 - dvigatel validagi foydali quvvat, W.

Agar kirish quvvati kuchlanish, tok va quvvat koeffitsiyenti orqali aniqlansa, dvigatel uchun:

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

bu yerda:

U - ta'minot kuchlanishi, V, I - iste'mol toki, A; $\cos \varphi$ - quvvat koeffitsiyenti.

Shunda FIK quydagicha yoziladi

$$\eta = \frac{P_2}{U \cdot I \cdot \cos \varphi} \times 100$$

Yordamchi zanjirlarda elektr energiyasidan samarali foydalanishni ta'minlashda quvvat koeffitsiyentining yuqori bo'lishi muhim ahamiyatga ega. Kondensatorlardan foydalanish natijasida reaktiv quvvat iste'moli kamayadi va elektr tarmog'ining yuklanishi pasayadi. Elektr harakat tarkiblarining yordamchi tizimlarida energiya iste'moli ko'pincha ventilyatorlar, kompressorlar va sovutish quurilmalari hissasiga to'g'ri keladi. Ushbu quurilmalarda ishlatiladigan elektr motorlarning energetik ko'rsatkichlarini yaxshilash umumiy energiya sarfini kamaytirishga xizmat qiladi [11, 13].

Nazariy tahlillar shuni ko'rsatadiki, kondensatorli asinxron motorlarda stator magnit maydonining simmetrikligi ortadi, ishga tushirish momenti yaxshilanadi hamda motorning foydali ish koeffitsiyenti oshadi.

1-jadval

Oddiy va kondensatorli asinxron motorlarning energetik ko'rsatkichlarini taqqoslash

Ko'rsatkich	Oddiy motor	Kondensatorli motor	O'zgarish, %
Nominal quvvat	0,75	0,75	-
Foydali ish koeffitsiyenti (η)	72	81	+12,5

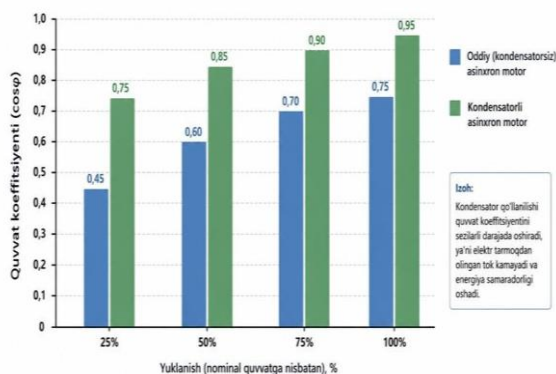


Quvvat koeffitsiyenti (cosφ)	0,70	0,92	+31,4
Tok istemoli	5,1	4,4	-13,7
Faol quvvat	0,95	0,87	-8,4
Reaktiv quvvat	0,97	0,37	-61,9
To'la quvvat	1,35	0,95	-29,6
Elektr energiya sarfi	7,60	6,96	-8,4

3. Natijalar va muhokamalar

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, kondensatorli asinxron motorlarni qo'llash natijasida quvvat koeffitsiyenti 0,70 dan 0,92 gacha oshadi, foydali ish koeffitsiyenti 72% dan 81% gacha yaxshilanadi. Shu bilan birga reaktiv quvvat istemoli 61,9%, ga tok istemoli esa 13,7% ga kamayadi natijada elektr energiyasi sarfi kamayib, elektr harakat tarkiblarining yordamchi elektr yuritmalarda energiya samaradorligi oshadi va sezilarli darajada yaxshilanadi. Bu esa elektr energiyasi sarfining kamayishiga olib keladi [10,13,14].

Elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida bunday motorlarni qo'llash natijasida elektr ta'minoti tizimining yuklanishi kamayadi hamda elektr uskunalarning xizmat muddati uzayadi. Bundan tashqari, energiya yo'qotishlarining kamayishi ekspluatatsion xarajatlarni pasaytirishga xizmat qiladi. Kondensatorli motorlarning yana bir afzalligi ularning konstruksiyasi nisbatan sodda va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari kamligidir. Shu sababli ularni [7, 9]. yordamchi elektr yuritmalarda qo'llash iqtisodiy jihatdan ham maqsadga muvofiq hisoblanadi



Xulosa:

- ✓ Kondensatorli asinxron motor har qanday yuklanishda oddiy asinxron motorga nisbatan yuqori quvvat koeffitsiyentiga ega.
- ✓ Nominal yuklanishda oddiy motor cosφ = 0,75; kondensatorli motor cosφ = 0,95.
- ✓ Bu esa reaktiv quvvatni kamaytiradi va elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini oshiradi.

2-rasm "Kondensatorli va oddiy asinxron motorlarning quvvat koeffitsiyenti bo'yicha taqqoslash diagrammasi"

4. Xulosa

O'tkazilgan nazariy tahlillar natijasida elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarni qo'llash energetik samaradorlikni oshirishning muhim yo'nalishlaridan biri ekanligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

Kondensatorli asinxron motorlardan foydalanish quvvat koeffitsiyentini oshirish imkonini beradi. Reaktiv quvvat iste'molining kamayishi elektr energiyasi yo'qotishlarini qisqartiradi. Foydali ish koeffitsiyentining ortishi yordamchi elektr yuritmalarning samaradorligini oshiradi. Yordamchi zanjirlarda energiya sarfining kamayishi elektr harakat tarkiblarining umumiy energetik ko'rsatkichlarini yaxshilaydi. Kondensatorli asinxron motorlarni qo'llash ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va elektr jihozlarning ishonchligini oshirishga xizmat qiladi. Shunday qilib, elektr harakat tarkiblarining yordamchi zanjirlarida bir fazali kondensatorli asinxron elektr motorlarni qo'llash energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etishning ishtioboli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Fitzgerald A.E., Kingsley C., Umans S.D. Electric Machinery. New York: McGraw-Hill, 2019.
- [2] Вольдек А.И. Электрические машины. – Санкт-Петербург, 2021.
- [3] U.T.Berdiyev, N.B.Pirmatov, F.F.Hasanov, O'.N.Berdiyev, G.R.Qahhorova. Elektromexanika-Toshkent:2025.
- [4] U.T. Berdiyev Energy efficiency of electric dvigatels based on powder technology //Fifteen International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, 2024, Volume 328. - P. 329-336.
- [5] U.T.Berdiyev, L.A.Jiyankulov, N.T.Abdurakhmanov Energy-efficient artificial loading schemes when testing an asynchronous dvigatel // 15th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, ICTEA, 2024, Volume 1. - P. 1-5.
- [6] U.T. Berdiyev, A.U. Gapparov Descrease in noise and vibration of single-phase asynxronous dvigatels in rolling stock // Iop Conference Series Materials Science and EngineeringOpen source preview, 2020, Volume 883, - 012177. - P. 1-5.
- [7] У.Т.Бердиев, F.F.Xasanov, O'.B. Sulaymonov Частотно-регулируемого однофазных конденсаторных асинхронных двигателей (ОКАД) для вспомогательных агрегатов электроподвижного состава. Proceedings of the 1st international scientific and practical conference modern directions and movements in science, Luxembourg october 6-8, 2022. -P/ 254-261.
- [8] U.T. Berdiyev, F.F. Xasanov, O'.B.Sulaymonov, K.T.Karshiyev Problems and tasks of creating energy-saving electric machines. Proceedings of the 5th international scientific and practical conference scientific community: interdisciplinary research. 2022, -P. 552-559.
- [9] У.Т. Бердиев Улучшение электромагнитных параметров асинхронных тяговых двигателей электроподвижного состава /Н.Б. Пирматов, Е.В. Иксар, К.К. Усмонов, Ў.Н. Бердиев // The scientific journal vehicles and roads. – 2024. – № 1. – С. 45-51 (OAK Rayosatining 2020 yil 30 iyuldagi 01-10/1103-son qarori).
- [10] Емельянов А.Н., Козлов А.Н. и др. Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат // Молодой ученый. - 2015. - № 3. - С. 9–18.
- [11] Захарченко П.И., Шевнин Г., Вансеев Б. Н., Готлицев В.И. Обеспечение точности асинхронных двигателей - Донецк:УкрНИИНВ, 2005.–324 с.



[12] Давудов С. У., Дунаев М. П. Анализ энергетических показателей импульсных преобразователей // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – №2. – С. 345–355.

[13] U.T. Berdiyev, G.Sh Abidova, G.R. Qahhorova Kompozitsion magnit yumshoq qotishmalardan elektr motorlarning elementlarida foydalanishdagi asosiy parametrlarning tahlili. Central asian academic journal of scientific research. ISSN: 2181-2489 VOLUME 2 | ISSUE 4 | 2022.

[14] У.Т.Бердиев, Г..Р.Каххорова Энергоэффективный вентильные электропривод. Республиканская научно-практическая онлайн-конференция "применение современных методов в развитии науки" 2022. 27 декабрь. [HTTPS://ACADEMICSRSEARCH.COM/INDEX.PHP/CONFERENCE](https://academicsresearch.com/index.php/conference).

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

Qahhorova
Gulchiroy /
Gulchiroy
Kahhorova

Toshkent davlat transport
universiteti "Elektrotexnika"
kafedrası assistenti
E-mail:

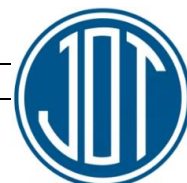
kahhorvagulchiroy@gmail.com

Tel.: +99893777-91-01

<https://orcid.org/0000-1234-5678-9101>

Berdiyev Usan /
Usan Berdiev

Toshkent davlat transport
universiteti professori



Stress-strain state characteristics of closed reinforced concrete frames considering infill wall effects

N.P. Sanaeva¹ 

¹Samarkand State Technical University named after Mirzo Ulugbek, Samarkand, Uzbekistan

Abstract: The article presents the results of theoretical and experimental investigations into the stress-strain state of single-bay reinforced concrete closed frames, both without infill and with infill, under the combined action of vertical and horizontal loads. The test specimens comprised two series: the first series of closed frames remained unfilled, whereas the interior space of the second series of closed frames was densely infilled with aerated concrete blocks, without gaps, extending up to the columns. The unfilled reinforced concrete closed frame was analyzed using the force method as a thrice statically indeterminate system. In the infilled reinforced concrete closed frame, the infill wall was replaced with an equivalent diagonal strut using the Mainstone model, accounting for the combined parallel interaction of the frame and the infill (dual system). The specimens were tested under the combined action of vertical and horizontal loads. The data obtained from the experimental testing and theoretical calculations were compared and subjected to comparative analysis.

Keywords: reinforced concrete closed frame, infill wall, aerated concrete block, diagonal strut, combined loading, load-bearing capacity, crack resistance

To'ldirma ta'sirini hisobga olgan holda yopiq temirbeton ramalarning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holati xususiyatlari

Sanayeva N.P.¹ 

¹Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat texnika universiteti, Samarqand, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada vertikal va gorizontal yuklarning birgalikdagi ta'sirida bo'lgan bir ravoqli to'ldirmasiz va to'ldirmali temirbeton yopiq ramalarning kuchlanish-deformatsiyalanish holatlarini o'rganish bo'yicha nazariy va eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan. Sinov namunalari ikkita seriyadan iborat bo'lib, birinchi seriyadagi yopiq ramaning ichi to'ldirilmagan, ikkinchi seriyadagi yopiq ramaning ichi esa gazoblok bilan ustunlarga zich (tirqishsiz) holda to'ldirilgan. Ichi to'ldirilmagan temirbeton yopiq rama siljishlar usuli asosida uch marta statik noaniq tizim sifatida tahlil qilingan. Ichi to'ldirilgan temirbeton yopiq ramadagi to'ldirma ekvivalent diagonal tirkak modeli (Mainstone modeli) bilan almashtirilib, rama va to'ldiruvchining parallel (dual system) ishlashi hisobga olingan. Namunalar vertikal va gorizontal yuklarning birgalikda ta'siriga sinaldi. Sinov va nazariy hisob-kitob bo'yicha olingan natijalar qiyosiy taqqoslangan.

Kalit so'zlar: temirbeton yopiq rama, to'ldirma, devor, gazoblok, diagonal tirkak, kombinatsiyalashgan yuklanish, yuk ko'tarish qobiliyati, darzbardoshlilik

1. Kirish

Zamonaviy qurilishda ramali tizimdan iborat temirbeton sinchli turar-joy, jamoat va sanoat binolari eng keng tarqalgan konstruktiv yechimlardan biri hisoblanadi. An'anaga ko'ra, bunday tizimlarni loyihalashda rama ustunlari oralari to'siq sifatida turli xildagi materiallar (g'isht, gazobeton yoki yengil beton bloklar) bilan to'ldiriladi. To'ldirmalar sinchning ishlashiga jalb qilinishi yoki jalb qilinmasligi mumkin. Birinchi holatda to'ldirmalarning ta'siri ramani hisoblashda e'tiborga olinadi. Ikkinchi holatda esa to'ldirmalar rama rigellariga tasir qiladigan doimiy yuk sifatida e'tiborga olinadi.

Tashqi yuklar ta'siridan ichi to'ldirilgan ramaning kuchlanish-deformatsiyalanish holati ichi to'ldirilmagan ramadan keskin farq qiladi. To'ldirma materialining mustahkamligi va undan bajarilgan terim bikirligi tashki yuklar (vertikal va gorizontal) ta'sirida bo'lgan ramaning bikirligini bir- necha marta oshiradi va gorizontal ko'chishini kamaydiradi [1].

Adabiyotlar tahlili

Kim va Yu (2021) tomonidan o'tkazilgan eksperimental tadqiqotda ichi to'ldirilgan to'rtta va ichi to'ldirilmagan bitta temirbeton yopiq rama namunalari sinalgan. Miqdori o'zgarmagan doimiy vertikal yuk ta'siri ostida bo'lgan yopiq rama miqdori oshib boruvchi, yo'nalishi o'zgargan

 <https://orcid.org/0009-0008-0045-9811>



gorizontal yuklar ta'siriga sinalgan. Tadqiqotda yuqori rigel bilan to'ldirma orasidagi chok 30 mm tashkil qilgan. Bunday konstruksiyadagi yopiq ramaning seysmik ta'sirlarga qarshiligi o'rganilgan [2]. Sinov natijalari bo'yicha tirqish mavjud bo'lgan namunalarda tirqishsiz namunaga nisbatan mustahkamlik 75–80% ga, bikirlik esa 55–70% ga kamaygani aniqlangan.

Springer nashrida (2025) e'lon qilingan tadqiqotda to'ldirmali temirbeton ramalarning nohiziqli ishlashi, plastik sharnirning hosil bo'lishi to'ldirmaga ekvivalent bo'lgan siqiluvchi diagonal tirgak modeli asosida tahlil qilingan. Hisoblash jarayonida ustunlarga ta'sir qilgan doimiy vertikal yuk miqdori 40 kN teng qabul qilingan, konstruksiyaning gorizontal yuk ta'sirlariga qarshiligi esa nohiziqli statik tahlil usuli bilan o'rganilgan. Tadqiqot natijalari to'ldirmaning temirbeton sinch bilan birgalikda ishlab, uning gorizontal bikirligini va yuk ko'tarish qobiliyatini sezilarli darajada oshirganligi keltirilgan. To'ldirma siqiluvchi diagonal tirgak vazifasini bajarib, gorizontal kuchlarning bir qismini qabul qiladi va rama ustunlari hamda rigellari o'rtasida ichki kuchlarni qayta taqsimlaydi. Tadqiqot mualliflari temirbeton sinchlarning seysmik mustahkamligini baholashda to'ldirmali ta'siri, vertikal yuklarning mavjudligi va «sinch-to'ldirma» tizimining o'zaro ta'sirini kompleks ravishda hisobga olish muhim ahamiyat kasb etishini qayd etganlar [3].

D. Sen va hammualliflar tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda [1] to'ldirmasiz va to'ldirmali temirbeton yopiq rama hamda ferrosement bilan kuchaytirilgan to'ldirmali sinchlarning kvazistatik siklik yuklar ostidagi ishlashi eksperimental jihatdan tadqiq qilingan. Sinov jarayonida doimiy vertikal yuk ta'sirida bo'lgan namunalarga bosqichma-bosqich oshirilib boriluvchi siklik gorizontal yuklar ta'sir qilgan. Natijalarga ko'ra, to'ldirma temirbeton sinchning gorizontal bikirligi, yuk ko'tarish qobiliyati va energiya yutish xususiyatini sezilarli darajada oshirgan. Ferrosement bilan kuchaytirilgan to'ldirma esa mazkur ko'rsatkichlarni yanada yaxshilab, konstruksiyaning zilzilabardoshligini oshirgan. Shu bilan birga, to'ldirma sinch tarkibida siqiluvchi diagonal tirgak sifatida ishlab, gorizontal yuklarning ma'lum qismini qabul qilishi hamda rama elementlaridagi (ustun, rigel) ichki kuchlarni qayta taqsimlashi aniqlangan. Mualliflar to'ldirmaning sinch bilan o'zaro ta'sirini hisobga olish zarurligini ta'kidlaganlar.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi bir xil geometrik parametriga va material xarakteristikalariga ega ikki xil seriyadagi rama namunasi (to'liqsiz va zich to'ldirilgan) ustida o'tkazilgan nazariy hisob va laboratoriya tajribasi natijalarini qiyosiy tahlil qilinishi va to'ldirmaning mustahkamligi va darzbardoshligi aniqlanganligi bilan belgilanadi.

QMQ 2.01.03-19 "Zilzilaviy hududlarda qurilish" me'yoriy hujjatining 3.2.5-bandida ko'p qavatli binolar sinchlarini hisoblashda to'ldirmalarning ta'sirini hisobga olish zarurligi umumiy tarzda ko'rsatilgan. Biroq bu ta'sirni aniq qanday hisoblash bo'yicha batafsil tavsiyalar keltirilmagan [4]. So'nggi o'n yilliklardagi xalqaro tajribaviy tadqiqotlar to'ldirmali rama tizimining yuk ko'tarish qobiliyati va bikirligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi e'tirof etilgan.

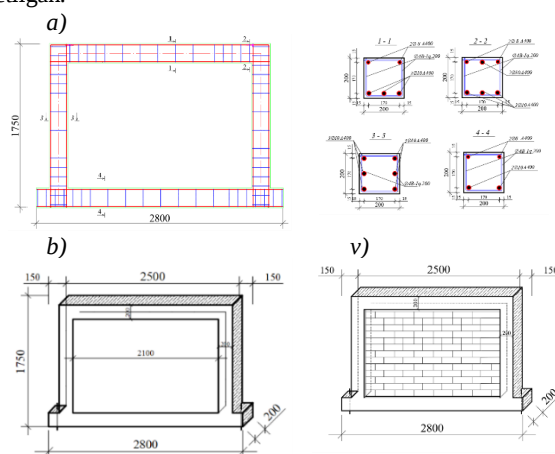
2. Tadqiqot metodologiyasi

Ichki to'ldirilgan va gazobloklar bilan to'ldirilgan bir oralikli temirbeton ramalarning vertikal va gorizontal

yuklarning birgalikdagi ta'siridagi kuchlanish va deformatsiyalanishi holatlari eksperimental va nazariy tadqiq etildi.

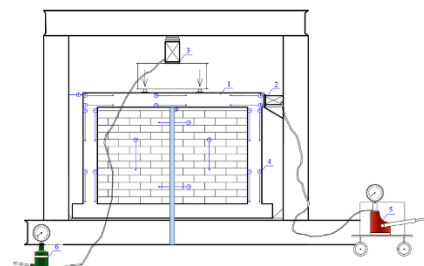
Eksperimental tadqiqotlar uchun tayyorlangan rama namunalari va elementlarining o'lchamlari 1, (a-b) – rasmda keltirilgan. Rama elementlari siqilishdagi mustahkamligi bo'yicha sinfi B25 bo'lgan betondan tayyorlanib A400 sinfli armaturalar bilan jihozlanganligi 1, (a)-rasmda keltirilgan. Bo'ylama va ko'ndalang armaturalarning oquvchanlik chegarasi hamda betonning siqilishdagi mustahkamligi GOST talablari asosida aniqlandi [5].

Yopiq temirbeton ramaning ichini to'ldirish uchun D500 markali, B2,0 sinfli 300×150×100 mm o'lchamdagi avtoklavsiz gazoblok ishlatildi 1,(s)-rasm. Avtoklavsiz gazoblokdan bajarilgan terim (devor) qalinligi 150 mm. Terim ramaga zich (tirqishsiz) holda yelim yordamida bajarildi. GOST 25485 tasnifiga muvofiq B2,0 sinfli gazoblokning siqilishdagi kafolatlangan me'yoriy mustahkamligi 2,0 MPa tashkil qildi [6]; To'ldirma temirbeton sinch mustahkamlikka erishganidan keyin barpo etilgan.

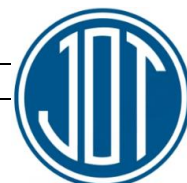


1-rasm. Namunalarning konstruktiv sxemasi
a-sinov namunasining geometrik o'lchamlari
(mm), b-to'ldirmasiz yopiq temirbeton rama, v-
to'ldirmali yopiq temirbeton rama

Tayyorlangan namunalar 28 sutkadan keyin statik yuklar ta'siriga sinaldi. Vertikal yo'nalishda yuklar 25 tonnalik, gorizontal yo'nalishda esa 5 tonnalik gidravlik domkratlar yordamida berildi. Siljish, salqilik va deformatsiyalar aniqligi 0,01 bo'lgan soat tipidagi indikator yordamida o'lchandi.



2-rasm. Sinov stendining sxematik ko'rinishi:
1 – yopiq temirbeton rama; 2 – quvvati 5 t domkrat; 3 –
quvvati 25 t domkrat; 4 –soat tipidagi indikatorlar; 5 va 6
– gidravlik nasos stansiyalari



3. Natijalar va muhokamalar

Ichi to'ldirilgan va to'ldirilgan yopiq temirbeton ramaning yuk ko'tarish qobiliyatiga vertikal va gorizontal yuklarning birgalikdagi ta'sirini aniqlash uchun rama namunalari maxsus tayyorlangan standda sinaldi (2-rasmga qarang).

Sinovning dastlabki bosqichlarida vertikal yukning $P_{crc,eks} = 6,25$ kN, gorizontal yukning $Q_{crc,eks} = 3,4$ kN qiymatlarida ichi to'ldirilgan rama elementlarining siqilgan zonalaridagi betonlar va cho'zilgan zonalariga armaturalar elastik holatda ishlaganli sababli rama elementlarining cho'zilgan zonalarida darzlar kuzatilmadi.

Tashqi yuklarning, mos ravishda $P_{crc,eks} = 9$ kN va $Q_{crc,eks} = 4,5$ kN qiymatlarida rama rigelining cho'zilgan zonalarida birinchi darzlar hosil bo'ldi. Vertikal va gorizontal yuklar qiymatlarining oshishi bilan darzlar rivojlana borib, rigel bo'ylab hamda rigel-ustun tutashgan tugunlar atrofida paydo bo'ldi. Yuk qiymatining yanada oshishi natijasida ustunlarda ham darzlar paydo bo'lib, konstruksiyaning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holati nochiziqli bosqichga o'tdi. Darzlarning asosiy qismi rigel tayanchlarining yuqori va ravog'ining pastki cho'ziluvchi zonalarida, shuningdek rigel-ustun tugunlarida hosil bo'lganligi kuzatildi. Sinov oxirigacha ramaning yuk ko'tarish qobiliyati saqlanib qolindi va buzilish holati qayd etilmadi.

Tashqi yuklarning $P_{u,eks} = 44,5$ kN va $Q_{u,eks} = 22$ kN qiymatlari rama namunasi buzilish holatiga keldi. Ramaning buzilish holatidagi ko'rinishi 3, (a)-rasmga keltirilgan.

Tajriba natijalari to'ldirmali yopiq temirbeton ramada tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'lgan kuchlanishlar rama va to'ldirma o'rtasida qayta taqsimlangan holda qabul qilinib, ularning yagona konstruktiv tizim sifatida birgalikda ishlaganligini ko'rsatdi. Sinovning dastlabki bosqichlarida vertikal yukning $P_{crc,eks} = 14,3$ kN, gorizontal yukning $Q_{crc,eks} = 6,8$ kN qiymatlarida ichi to'ldirilgan rama elementlarining siqilgan zonalaridagi betonlar va cho'zilgan zonalariga armaturalar elastik holatda ishlaganli sababli rama elementlarining cho'zilgan zonalarida hamda to'ldirmada darzlar kuzatilmadi. Tashqi yuklarning, mos ravishda $P_{crc,eks} = 23,8$ kN va $Q_{crc,eks} = 11$ kN qiymatlarida to'ldirmada birinchi darzlar hosil bo'ldi. Yuklarning oshishi natijasida $P_{crc,eks} = 33,2$ kN va $Q_{crc,eks} = 16$ kN qiymatlarida rama rigelining cho'zilgan zonalarida birinchi darzlar hosil bo'ldi. Vertikal va gorizontal yuklar qiymatlarining oshishi bilan darzlar rivojlandi. Rigel bo'ylab va rigel-ustun tutashgan tugunlar atrofida hamda to'ldirmada darzlar paydo bo'ldi. Bu holat to'ldirmada darzlanish boshlanganidan keyin yuklarning bir qismi temirbeton rama elementlariga qayta taqsimlanganligini ko'rsatdi. Yuk ortishi bilan darzlar rivojlanib, to'ldirmaning turli qismlariga tarqaldi.

Yakuniy yuklash bosqichida to'ldirmaning yuqori qismida rama bilan tutashuv sohalarida darzlar zichligi ortgan bo'lsa-da, temirbeton rigel va ustunlarda sezilarli konstruktiv shikastlanishlar qayd etilmadi. Bu holat tashqi yuklar ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanishlarning katta qismi to'ldirma tomonidan qabul qilinganligini va energiyaning asosan to'ldirma darzlanishi hisobiga so'ndirilganligini ko'rsatadi. Namuna maksimal yuk ko'tarish qobiliyatiga $P_{u,eks} = 94,5$ kN vertikal va $Q_{u,eks} = 45$ kN gorizontal yuk ta'sirida erishgan bo'lib, sinov oxirigacha to'ldirmaning

to'liq shikastlanishi yoki rama elementlarining mo'rt yemirilishi kuzatilmadi.

Olingan natijalar to'ldirma yopiq temirbeton ramaning umumiy bikrligi va yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish bilan bir qatorda, shikastlanishlarni asosan to'ldirma qatlamida jamlash orqali rama elementlarini og'ir shikastlanishlardan muhofaza qilishini ko'rsatdi. Darzlarning asosan to'ldirmada rivojlanishi va temirbeton rama elementlarida og'ir shikastlanishlarning kuzatilmaganligi tashqi yuklar ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanishlarning konstruksiya elementlari bo'ylab samarali qayta taqsimlanganligini ko'rsatdi. Bu holat konstruksiyaning yuklash jarayonida yuk ko'tarish qobiliyatini saqlab qolgan holda deformatsiyalanishini hamda buzilish jarayonining bosqichma-bosqich rivojlanganligini tasdiqlaydi 3, (b)-rasm.



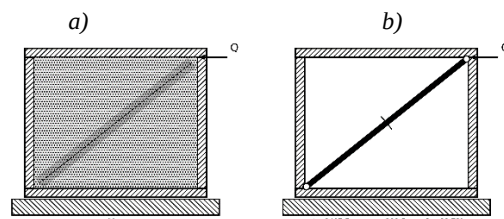
3-rasm. Namunalarning bo'zish holatidagi ko'rinishlari:

a) – to'ldirmasiz yopiq temirbeton rama;
b)- to'ldirmali yopiq temirbeton rama

Nazariy hisoblash natijalari

Bikir mahkamlangan to'ldirmasiz yopiq temirbeton rama uch marta statik noaniq tizim sifatida, deformasion (siljishlar) usuli bilan tahlil qilindi. Naziriy hisob bo'yicha to'ldirmasiz yopiq temirbeton ramaning yuk ko'tarish qobiliyati $P_{u,naz} = 43$ kN, darz xosil qilish yuki $P_{crc,naz} = 9,65$ kN aniqlandi.

To'ldirmali yopiq temirbeton ramani nazariy hisoblashda Mainstone modelidan foydalanamiz ya'ni, to'ldirmaning rama bilan o'zaro ta'siri ekvivalent diagonal siqiluvchi tirgak orqali ifodalanadi. Yuk uzatish jarayonida asosan siqiluvchi diagonal faol ishtirok etadi. Ekvivalent tirgakning hisobiy eni to'ldirma va rama elementlarining nisbiy bikrligi, to'ldirma qalinligi, geometrik parametrlari va diagonal burchagini hisobga oluvchi Mainstone empirik ifodasi orqali aniqlanadi (4-rasm). Bu modelni 1971 yilda R. J. Mainstone taklif qilgan va hozirgacha FEMA 306, Eurocode 8, ASCE 41 kabi deyarli barcha xalqaro me'yoriy hujjatlarda standart usul sifatida qo'llaniladi [7, 8].



4-rasm. Mainstone (1971) ekvivalent diagonal siqiluvchi tasma modeli:

(a) haqiqiy to'ldirmadagi diagonal siqilish zonasi; (b) uni almashtiruvchi, faqat siqilishda ishlovchi sharnirli diagonal tasma (kengligi w , uzunligi d)

Ichi gazoblok bilan to'ldirilgan yopiq temirbeton ramaning geometrik parametrlari 1,a-rasmga keltirilgan.

To'ldirma qalinligi $t = 150$ mm bo'lganda, to'ldirma diagonal va og'ish burchagi quyidagi formula yordamida aniqlanadi

$$d_w = \sqrt{l_w^2 + h_w^2} \quad (1)$$

Diagonalning gorizontal yo'nalishga og'ish burchagi $\alpha = \arctan(h_w/l_w) = 32,7^\circ$. $\cos \alpha = 0,841$, $\sin 2\alpha = 0,910$.

Ekvivalent diagonal tirgakning hisobiy eni (Mainstone formulasi bo'yicha):

$$w/d = 0,16(\lambda_1 h_w)^{-0,3} \quad (2)$$

bu yerda: λ_1 -to'ldirmali yopiq temirbeton ramaning nisbiy bikirlik parametri:

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_t t_w \sin 2\alpha}{4 E_b l_t h_w} \right]^{1/4} \quad (3)$$

Rama va to'ldirmaning birgalikdagi ishlashi hisoblashda Paulay va Priestley (1992) hamda FEMA 306 (1998) hujjatlarida keltirilgan umumiy tarzda asoslangan (dual resisting system) tamoyildan foydalanildi [9] va yuk ko'tarish qobiliyati $P_{u,naz} = 73,2$ kN, darz xosil qilish yuki $P_{crc,naz} = 15$ kN temirbeton rama va to'ldirmaning tutashgan chegarasida (yuqori rigel va yon ustunlar bo'ylab yelim chokida) aniqlandi. Darz xosil qilish yuki $P_{crc,naz} = 22$ kN d a rigelning oraliq (prolet) qismidagi pastki cho'zilgan zonasida paydo bo'ldi.

Eksperimental va nazariy hisoblash natijalarining taqqoslash tahlili

Yuk ko'tarish qobiliyati bo'yicha olingan nazariy natija eksperimental tadqiqot bilan taqqoslandi 1-jadval.

1-jadval

Yuk ko'tarish qobiliyati bo'yicha olingan nazariy natijalarning eksperimental tadqiqot natijalari bilan taqqoslanishi

Ko'rsatkich	To'ldirmasiz yopiq temirbeton rama	To'ldirmali yopiq temirbeton rama	Farqi
Nazariy $P_{u,naz}$, kN	43	73,2	+70,2%
Eksperimental $P_{ult,eks}$, kN	45	94,5	+110%
Nisbati	0,95	0,77	—

Namunlarda dastlabki darzlar paydo bo'lishi bo'yicha olingan natijalar nazariy va eksperimental tadqiqot bilan taqqoslandi 2-jadval.

2-jadval

Namunalarda dastlabki darzlar paydo bo'lishi bo'yicha olingan nazariy va eksperimental tadqiqot natijalarining taqqoslanishi

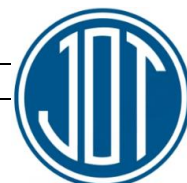
Ko'rsatkich	To'ldirmasiz yopiq temirbeton rama	To'ldirmali yopiq temirbeton rama
Nazariy $R_{crc,naz}$, kN	9,65	22
Eksperimental $R_{crc,eks}$, kN	9	33,5
Nisbati	1,7	0,65

Birinchi darzlarning ancha oldin to'ldirmada xosil bo'lishi temirbeton va gazoblokning elastiklik modullari E_b , E_m keskin farq qilgani uchun kontakt zonasidagi cho'zuvchi kuchlanishlar yelimning yopishish mustahkamligidan oshadi va birinchi ajralish mikroyorig'i hosil bo'ladi. Kontakt choki ajralgach, egiluvchi momentning bir qismi rigelga o'tadi va betondagi cho'zilish kuchlanishi betonining normativ cho'zilish mustahkamligidan oshib, betonda egilish yorig'i ochiladi.

To'ldirilmali temirbeton ramaning yuk ko'tarish qobiliyati bo'yicha olingan nazariy hisoblash natijalari real eksperimental tadqiqot ko'rsatkichlaridan sezilarli darajada past ekanligi aniqlandi. Ushbu nomuvofiqlikning asosiy sababi —nazariy modellashirishda gazoblokning faqat sof bir o'qli siqilishdagi mustahkamligi e'tiborga olinishidir. Tadqiqot jarayonida esa, temirbeton kontur ichiga tirgishsiz va zich terilgan gazoblok to'liq cheklangan deformatsiyalanish sharoitiga tushadi. Natijada, material murakkab hajmiy (uch o'qli) siqilish holatiga o'tib, konturning siqib turish (oboyma) effekti evaziga uning real mustahkamligi keskin ortadi. Bundan tashqari, kontakt

yuvasidagi o'zaro ta'siri evaziga rama rigeli va to'ldirma bir yaxlit to'sin-devor (balka-stenka) sifatida birgalikda ishlaydi hamda vertikal va gorizontal yuklarni devor maydoni bo'ylab qayta taqsimlaydi.

Olingan natijalarni nazariy hisoblash va eksperimental tadqiqot ma'lumotlari bilan qiyosiy tahlil qilish natijalari tadqiqotchilar tomonidan olingan ilmiy xulosalar mos kelishini ko'rsatdi [7]. Jumladan, Meynstoun tadqiqotlarida hamda zamonaviy seysmik me'yorlarda qo'llaniladigan ekvivalent diagonal tirgak modellarida to'ldirmaning rama bilan o'zaro ta'siri va uning haqiqiy kuchlanish-deformatsiya holati hisobga olinmasligi natijasida konstruksiyaning haqiqiy yuk ko'tarish qobiliyati to'liq aks etmasligi qayd etilgan [10]. Asteris va Mehrabi tomonidan o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari esa rama konturiga zich joylashtirilgan to'ldirmaning fazoviy siqilish holati, deformatsiyalarning cheklanishi va rama bilan o'zaro ta'siri hisobiga yuk ko'tarish qobiliyati nazariy hisob qiymatlardan yuqori bo'lishi mumkinligini ko'rsatgan [11, 12]. Shuningdek, Murti va Jayn tadqiqotlarida to'ldirmali ramalarning bikrligi va mustahkamlik ko'rsatkichlari



to'ldirmasiz ramalarga nisbatan sezilarli darajada yuqori ekanligi aniqlangan [13]. Ushbu natijalar mazkur tadqiqotda olingan nazariy va eksperimental ma'lumotlar o'rtasidagi farqlarning fizik-mexanik asoslari mavjudligini tasdiqlaydi.

4. Xulosa

Nazariy tahlil natijalari to'ldirmaning temirbeton rama darzbardoshligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. Xususan, to'ldirmasiz yopiq temirbeton ramada dastlabki darz 9,65 kN ni tashkil etgan bo'lsa, to'ldirmali ramada ushbu qiymat 22,0 kN ga yetgan. Bu to'ldiruvchi devorning rama bilan birgalikda ishlashi natijasida konstruksiyaning dastlabki yorilishga qarshiligi taxminan 2,28 marta oshganligini ko'rsatadi.

Eksperimental tadqiqot natijalariga ko'ra, to'ldirmasiz yopiq temirbeton ramada dastlabki darz hosil bo'lish yuki 9,0 kN ni tashkil etgan bo'lsa, to'ldirmali ramada mazkur ko'rsatkich 33,5 kN ga yetgan. Demak, to'ldiruvchi devorning rama bilan birgalikda ishlashi natijasida konstruksiyaning dastlabki yorilishga qarshiligi sezilarli darajada oshgan va darzlanish yuki to'ldirmasiz ramaga nisbatan taxminan 3,72 marta yuqori bo'lgan.

Nazariy va eksperimental tadqiqot natijalari to'ldirmali temirbeton ramaning yuk ko'tarish qobiliyati va darzbardoshligiga sezilarli ijobiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. Eksperimental sinovlarda to'ldirmali ramaning vertikal yuk ko'tarish qobiliyati to'ldirmasiz ramaga nisbatan 2,1 martaga oshgan, nazariy hisoblarda esa ushbu o'sish 1,45 tashkil etgan. Nazariy va eksperimental natijalar o'rtasidagi farq to'ldirmaning rama bilan birgalikda ishlashi, deformatsiyalarning cheklanishi va fazoviy siqilish (oboyma) effekti bilan izohlanadi. Gorizontaal yuk ta'sirida esa gazoblok devor ramaning umumiy bikirligi va seysmik qarshiligini oshirib, yuklarni qayta taqsimlashda faol ishtirok etgan.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Sen D., Zahura F.T., Das A., Alwashali H., Islam M.S., Maeda M., Seki M., Bhuiyan M.A.R. A Comparative Investigation on Experimental Lateral Behaviour of Bare RC Frame, Non-strengthened and Ferrocement Strengthened Masonry Infilled RC Frame // Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. – 2024. – Vol. 57, No. 2. – P. 85–96. – DOI: 10.5459/bnzsee.1656.
- [2] Kim M., Yu E. Experimental Study on Lateral-Load-Resisting Capacity of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 21. – P. 9950. DOI: 10.3390/app11219950.
- [3] El-Kholy A.M., Sayed S.M., El-Assaly M.M., Ismail M.K. Modeling of masonry infilled RC frames with

different aspect ratios using plastic hinge and equivalent strut // Journal of Engineering and Applied Science. – 2025. – T. 72. – Мақола №18. – DOI: 10.1186/s44147-024-00556-x.

[4] QMQ 2.01.03-19. Zilzilaviy hududlarda qurilish. – Toshkent, 2019. – 47 b.

[5] V.F. Usmanov, N.P. Sanayeva. Temirbeton rama modelini eksperimental tadqiqi // "Arxitektura qurilish va dizayn" ilmiy-amaliy jurnali. Toshkent, 2026. № son, 275-279 betlar.

[6] ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2019.

[7] Mainstone R.J. On the stiffnesses and strengths of infilled frames // Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Supplement (IV). – 1971. – P. 57–90.

[8] ЎзИИHK 2.03.01-96. Бетон ва темирбетон конструкциялар. – Тошкент, 1996.

[9] Paulay T., Priestley M.J.N. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. – New York: John Wiley & Sons, 1992. – 768 p.

[10] ASCE/SEI 41-17. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, VA. 576 p.

[11] Asteris, P. G., Cotsovos, D. M., Chrysostomou, C. Z., Mohebkhah, A., & Al-Chaar, G. K. (2013). Mathematical micromodeling of infilled frames: State of the art. Engineering Structures, 56, 1905–1921.

[12] Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., & Noland, J. L. (1996). Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. Journal of Structural Engineering, 122(3), 228–237.

[13] Murty, C. V. R., & Jain, S. K. (2000). Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), Auckland, New Zealand, Paper No. 1790.

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

Sanayeva Nargiza
Payzullayevna /
Nargiza Sanaeva

Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat texnika universiteti, «Qurilish muhandisligi» texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), DSc doktoranti

E-mail:

sanayeva.nargiza.88@mail.ru

Tel.: +998 97 926-70-88

[https://orcid.org/0009-](https://orcid.org/0009-0008+0045-9811)

[0008+0045-9811](https://orcid.org/0009-0008+0045-9811)



M. Talipov, E. Ergashev

A comprehensive approach to assessing and reducing neuropsychic burden in the work activity of driver examination center employees.....5

Z. Jalolova, N. Abdullaev

Assessment of public transport safety and the technical parameters of lifting and handling equipment.....11

S. Salikhanov, D. Ravshanova

The influence of environmental factors on the performance of reinforced concrete bridge structures.....15

Z. Jalolova, Kh. Vahobov

An analysis of theoretical approaches to ensuring road traffic safety20

KH. Tuychiev, KH. Tuychiev

Development of a technology for producing coarse-grained tungsten carbide powders.....25

J. Gulyamov, H. Toshmamatov

Optimization of energy efficiency in irrigation pumping stations: Mathematical modeling using Bellman and Pontryagin approaches.....29

R. Kiyamov

An improved method for increasing the capacity of branched optical communication networks based on transfer to a single-fiber mode.....35

A. Muratov

Criteria for evaluating the efficiency of freight transportation by road transport and approaches to their optimization.....41

D. Mirzajonov, E. Shchipacheva

Architectural and planning organization of a multifunctional residential complex for sustainable urban planning: using the example of Namangan city.....45

A. Komilov, A. Kuziev

Mathematical modeling of the urban public transport system in Termiz city based on passenger flows and simulation-based timetable improvement.....50

V. Soy, Sh. Eshbekov, A. Jumageldiev, J. Turgaev <i>Modified arbolite concrete based on reduced treatment waste: Composition analysis, disadvantages and technological solution.....</i>	54
N. Sarvirova, D. Tajibaev, Z. Kamoliddinov <i>Economic assessment of the impact of thematic tourist routes on the development of the regional tourism services market.....</i>	60
D. Tajibaev <i>An organizational and economic methodology for developing regional thematic tourist routes.....</i>	66
Sh. Kudratov, O. Khamidov, B. Gayratov, F. Djuraev, A. Joraev <i>Assessing the technical condition of mainline diesel locomotive power plants using modern diagnostic and automated monitoring technologies.....</i>	77
O. Shokirov <i>Determining the safe movement speed of transport vehicles in mountain road conditions and justifying measures for its mandatory reduction (using the example of mountainous areas of the M-39 highway).....</i>	84
B. Komilov <i>Advantages of implementing a quality management system in healthcare institutions.....</i>	89
S. Boltaev, Ch. Aripova <i>Analysis and modernization of control equipment at railway stations of JSC "Uzbekistan Railways".....</i>	93
A. Azizov, I. Bondarenko <i>Synthesis of a relay operation algorithm aimed at creating a neural network model of its operation.....</i>	99
A. Azizov, I. Bondarenko <i>Synthesis of neural network development methods for a block route relay interlocking system, using the example of organizing train routes.....</i>	104
S. Ochilova, A. Norboboev <i>Sensor data-based assessment of waste container conditions and automation of regional services.....</i>	110

A. Gulomova

Current state and development prospects of heat-insulating cellular concrete for individual residential buildings.....115

F. Usarkulova, E. Abdurahmanova, M. Botirov

Regression model of service system optimization based on digitalization.....120

E. Abdurahmanova, F. Usarkulova, M. Botirov

Mathematical modeling and artificial intelligence methods for oil filtration processes in multilayer porous media: An analytical review.....124

Sh. Khakimov, D. Odilov, U. Isokhanov

Analysis of oil products consumption and exchange processes by trucks moving under the conditions of the Kamchik pass.....132

J. Djumanov, M. Sobirov

Multi-level energy-information model and physics-informed FUZZY-GA-LSTM adaptive algorithms for hybrid energy monitoring.....139

T. Muminov, D. Dolieva

Comprehensive assessment of the operational performance indicators of motor vehicles considering seasonal operating conditions.....148

S. Norkulov

Concept for improving the management system of “Tashkent metropoliteni” JSC based on regional operational hubs.....156

I. Makhamataliev, V. Soy, N. Mukhammadiev,**F. Abdukayumov, N. Erdanov, Sh. Uzakov,****A. Jumageldiev**

Effect of carbonate waste particle size on the structure and durability of heavyweight concrete.....163

I. Makhamataliev, V. Soy, N. Mukhammadiev,**F. Abdukayumov, N. Erdanov, Sh. Uzakov,****A. Jumageldiev**

Application of industrial carbonate waste in concrete technology.....171

A. Martazaev, S. Razzakov*Distribution of glass fibers in the concrete matrix.....177***D. Bekmirzaev, A. Sodikov***Stochastic modelling of post-earthquake evacuation risk in a student dormitory with a failed exit element.....182***N. Pashaev, S. Javadov***Electrophysical properties of nanocomposite materials based on aluminium oxide.....188***U. Khamrokulov***Scaling of precast-monolithic reinforced concrete frame building models, test program and selection of materials.....194***R. Primkulov, Kh. Umarov***Technical and economic justification of ballastless track structures under Uzbekistan's conditions.....198***M. Burikhodjaeva***Classification of methods for developing supply chains in road transport logistics.....203***M. Burikhodjaeva***Methods and priority directions for developing supply chains in automotive transport logistics within the context of Uzbekistan.....207***A. Rakhmonberdiev***Methods for analyzing complex electrical circuits.....211***M. Burikhodjaeva***Developing mechanisms for evaluating the relationships between supply chain participants.....215***Kh. Kamilov, M. Amirov***Systematic methods for assessing and managing occupational safety of train drivers.....221***Kh. Kamilov, M. Amirov***Sanitary and hygienic requirements for improving working conditions of train drivers.....226***D. Imamaliev, D. Sayfieva***The "Maktabga xavfsiz qadam" web platform: preventing road traffic accidents involving children.....230*

K. Mustafaeva, Sh. Jumaev, A. Makhkamov, Sh. Suyunbaev

Research on the time norms for performing technological operations with multi-group trains at railway stations.....234

F. Khasanov

Study of the magnetocaloric effect in magnetic materials.....242

F. Khasanov

The magnetocaloric effect as a basis for energy-efficient magnetic refrigeration.....247

D. Safaeva, Sh. Tashmuhammedova, D. Zairov

IR spectroscopic study of the formation of functional groups on the surface of polymer materials for packaging under the influence of corona discharge.....251

A. Azimov

Improving the cold-start process in fourth-generation gas-cylinder vehicles operating on compressed natural gas fuel.....254

A. Beliy, Sh. Kadirova

Improvement of the method for assessing the need for electrochemical protection of reinforced concrete bridge piers259

A. Adylkhodjaev, I. Kadyrov, F. Abdukadyrov,

S. Niyazbekov, A. Babajanov, A. Kamalov

Effect of a binary micro-filler and polyfunctional admixture on the structure formation and properties of cement binders.....264

A. Karshiboev

Numerical analysis of tunnel lining for a metro station.....272

U. Berdiev, G. Kahhorova

Improving energy performance through the application of single-phase capacitor asynchronous electric motors in auxiliary circuits of electric rolling stock.....278

N. Sanaeva

Stress-strain state characteristics of closed reinforced concrete frames considering infill wall effects.....282