QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӨЛІК МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ



QAZAQ HIGHWAY
SCIENCE AND INNOVATION

«ҚазжолҒЗИ» АҚ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АО «КаздорНИИ»

QAZAQ HIGHWAY SCIENCE AND INNOVATION

Рецензируемый журнал открытого доступа, зарегистрированный Министерством культуры и информации Республики Казахстан
Свидетельство о постановке на учет № KZ25VPY00119665 от 26.04.2024
ISSN (Online): 3008-1491
Учредитель: АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»
Тематическая направленность: публикация научных материалов по вопросам проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений, а также диагностики автомобильных дорог

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ»*

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
Амирбаев Ерик Дихамбаевич – *Вице-президент АО «КаздорНИИ»*
Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ»*
Ашимова Салтанат Жандарбековна – *доктор PhD, руководитель отдела ДСМиНТ Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы*
Тілеу Құрманғазы Байғазыұлы – *доктор PhD, руководитель управления цифровизации*
Токпатаева Райхан Уалихановна - *доктор PhD, старший специалист лабораторного отдела, Школа Строительной Инженерии им. Лайлс, Университет Пурдью (Purdue University)*
Жумагулова Адия Аскаровна – *кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»*
Жумамуратов Манарбек Бахтияруулы – *младший научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь*
Смагулова Мария Кусаиновна – *младший научный сотрудник департамента развития науки АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь*

Периодичность выхода: 4 раза в год
Адрес: Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жекебатыр, 35
Тел.: +7 (7172) 72-98-17
E-mail: qazjolgzi@gmail.com
Сайт: https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *K. Mukhambetkaliyev, A Sadvokasov., R. Aimagambetova, S. Sandybay*
REGULATING HEAVY CONSTRUCTION VEHICLE TRAFFIC IN ASTANA: TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION FOR DAYTIME MOVEMENT RESTRICTIONS 4
2. *Т. Габдулина, С. Сандыбай*
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШҰҒЫЛ КОНТИНЕНТАЛДЫ КЛИМАТЫ ЖАҒДАЙЫНДА АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ ЖАБЫНДАРЫНЫҢ МЕРЗІМІНЕН БҰРЫН ТОЗУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚАЙТА ЖӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ СТРАТЕГИЯЛАРЫ 12
3. *А. Карабаев, А. Нормухаммадов*
НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТИ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ДОРОЖЕК В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ГОРОДОВ 24
4. *К. Мухамбеткалиев, С. Сандыбай, А. Ким, Т. Агавов*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН НА ОСНОВЕ АДАПТАЦИИ ОПЫТА КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ 35
5. *K. Dosov, B. Idirisov*
OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF CERAMIC ROAD SURFACES BASED ON CLAY RAW MATERIALS 49
6. *Д. Пиршаев, М. Смагулова*
ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ СУХОЙ ЗОЛЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ 59

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

REGULATING HEAVY CONSTRUCTION VEHICLE TRAFFIC IN ASTANA: TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION FOR DAYTIME MOVEMENT RESTRICTIONS

Mukhambetkaliyev K.K.[1], Sadvokasov A.I. [1], Aimagambetova R.J. [1,*], Sandybay S.D.[2]

[1]Department of Science Development, KazDorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan
[2]Department of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan
*Corresponding author: r.aimagambetova@kazdornii.kz

Abstract. This paper examines the problem of heavy construction vehicle traffic during daytime hours in Astana, Kazakhstan, and its multi-dimensional negative effects on road infrastructure, ecology, and traffic safety. The study aims to provide a technical, economic, and legal justification for introducing a daytime movement restriction (07:00-20:00) for heavy construction vehicles over 15 tonnes via road sign 3.4, enforced through the existing Automated Fixed Violation Recording (AFVR) system. Methods applied include comparative and systems analysis, technical-economic assessment, regulatory analysis, and international benchmarking. Using the AASHTO fourth-power law, the study establishes that actual rear-axle loads of overloaded dump trucks (up to 36 t vs. the 16 t standard) produce destructive pavement impacts equivalent to 25,600 passenger cars per trip. A comparative review of 63 world cities confirms that Astana is the only CIS capital lacking a systematic daytime restriction on heavy construction vehicles. The proposed 'road sign 3.4 + AFVR' model requires a one-time investment of 25-45 million KZT and is projected to generate an annual economic benefit of 8-15 billion KZT through reduced road repair expenditure, lower accident rates, and the elimination of corruption risks.

Keywords: heavy construction vehicles, vehicle overloading, road sign 3.4, AFVR, road infrastructure, Astana, traffic restriction.

Introduction

Urban growth in rapidly developing cities is inseparably linked to rising construction volumes and intensifying freight flows. Astana, the capital of Kazakhstan, has experienced sustained residential, commercial, and infrastructure construction growth: its population is expanding, the city footprint is widening, and construction activity continues to increase. Yet the existing transport infrastructure is placed under severe stress by overloaded heavy vehicles – principally dump trucks, concrete mixers, and mobile cranes – operating throughout the daytime hours.

According to the transport inspection authority of the Republic of Kazakhstan, the actual rear-axle load of a fully laden four-axle dump truck reaches 36 tonnes against a permissible value of 16 tonnes [1]. Computing the destructive pavement impact by the AASHTO fourth-power law yields an equivalent of approximately 25,600 standard passenger car axle loads per single trip [10, 11]. Compounding this, only 6.8% of Kazakhstan's road network is rated to withstand axle loads exceeding 10 tonnes [19].

The problem is further exacerbated by the absence of any systematic mechanism for restricting heavy construction vehicle traffic during daytime hours in Astana. An international

benchmarking study of 63 world cities and capitals demonstrated that every examined city applies some form of heavy vehicle regulation [20]. Astana is effectively the only exception among CIS and Central Asian capitals, making this a pressing policy gap.

Earlier, the City Maslikhat of Astana had regulated heavy vehicle movements through Decision No. 145/18-III of 26 May 2005, which established daytime movement rules for freight and specialised vehicles between 08:00 and 22:00. That act was subsequently repealed, leaving no replacement regulatory mechanism despite the city having grown substantially since.

The aim of this study is to provide a comprehensive technical, economic, and legal justification for introducing a temporary daytime movement restriction on heavy construction vehicles in Astana. The specific objectives are: (1) to quantify the technical impact of overloaded vehicles on pavement; (2) to assess the economic damage at city and national level; (3) to benchmark international practice; (4) to substantiate the 'road sign 3.4 + AFVR' enforcement model; and (5) to evaluate its cost-effectiveness.

Methodology

The methodological framework combines comparative and systems analysis, technical-economic assessment, regulatory analysis, and international benchmarking. Pavement destructive impact was quantified using the AASHTO equivalent single-axle load (ESAL) formula [10]:

$$ESAL = (PA / PB)^4$$

where PA – actual axle load (tonnes); PB – standard axle load (16 t); ESAL – equivalent single-axle load factor.

Economic damage from overloading was estimated using a Russian infrastructure-damage methodology with a unit damage cost of 195 KZT·t/km, applied to a fleet of approximately 30,000 heavy dump trucks with an average annual mileage of 30,000 km and mean overload of 4 tonnes [19]. A second estimate based on full life-cycle pavement costs yielded a higher aggregate figure of approximately 142 billion KZT per year.

The international benchmarking covered 63 cities across six continents, drawing on official sources including Transport for London Annual Reports [6], Roads and Transport Authority Dubai [14], the Integrated Transport Centre Abu Dhabi [15], Moscow City Transport Department [18], and country-level regulatory databases [16, 17]. Cost-benefit analysis was based on projected reductions in road maintenance expenditure, AFVR fine revenues, accident savings, and ecological externalities.

Results and discussion

Technical Impact of Heavy Construction Vehicles on Pavement

The principal driver of accelerated pavement deterioration is the rear-axle load of overloaded four-axle dump trucks. At full load their rear axle carries 36 tonnes – more than double the permissible 16-tonne standard – generating destructive pavement impacts equivalent to approximately 25,600 standard passenger car axle loads per trip (Table 1). Even moderately overloaded concrete mixers produce impacts of 5,060–12,400 equivalent axle loads, orders of magnitude above design thresholds [1, 10].

Table 1 – Technical impact of overloaded construction vehicles on road pavement

Vehicle type	Permitted mass, t	Actual mass, t	Overload	Rear axle load, t	Destructive impact (AASHTO)
3-axle dump truck	26	40	14 t (+54%)	29	≈10,600×
4-axle dump truck	32	60	28 t (+88%)	36	≈25,600×
3-axle concrete mixer	26	32	7 t (+27%)	24	≈5,060×
4-axle concrete mixer	32	45	13 t (+41%)	30	≈12,400×
Mobile crane 25 t (3-axle)	26	31	5 t (+19%)	24.6	≈5,570×
Mobile crane 50 t (4-axle)	32	38.6	6.6 t (+21%)	25.6	≈6,560×

The most intense wear occurs at intersections, braking zones, gradients, and arterial entry roads where dynamic loads peak. Astana's sharply continental climate – with frequent freeze-thaw cycles and large temperature swings – amplifies structural damage, accelerating the formation of rutting, cracking, and longitudinal settlement [1]. International research indicates that heavy goods vehicles account for up to 40% of urban CO_2 transport emissions and up to 50% of local NOx emissions [3, 5, 12]. In high-HGV-flow zones, PM2.5 concentrations can exceed WHO guidelines by three to five times [12, 13].

Scale of Economic Damage

Applying the infrastructure-damage methodology, the estimated total annual road damage attributable to heavy vehicle overloading across the Republic of Kazakhstan is approximately 117 billion KZT (Russian methodology) to 142 billion KZT (pavement life-cycle methodology) [19]. Heavy freight traffic increases aggregate road wear by roughly 42%, directly compressing inter-repair intervals and elevating maintenance budgets.

The current mobile-patrol enforcement model covers only 5–10% of actual heavy-vehicle flows [19]. Selective inspections involving direct contact between inspectors and drivers create conditions for informal settlement of overload violations. According to the Kazakhstan transport inspection analytics, this corruption channel amounts to approximately 2 billion KZT per year (~USD 5 million) [19].

At the city level, 30–40% of Astana's pavement maintenance costs are attributable to heavy construction vehicle damage. Considering that the city's road-repair budget runs to several tens of billions of KZT annually, even a partial reduction in heavy vehicle daytime flows carries substantial fiscal implications.

International Benchmarking

The comparative study encompassing 63 cities on six continents shows that 100% of examined cities apply at least one form of systematic heavy vehicle regulation (Table 2). Mechanisms range from Low Emission Zones (LEZ) and Zero Emission Zones (ZEZ) to time-window bans, ring-road permit schemes, and automated ANPR enforcement [14–20].

Table 2 – Regional coverage of heavy vehicle movement restrictions (63 cities)

Region	**Coverage (%)**	**Predominant model**	**Typical time window**
Western Europe	100% (16/16)	LEZ/ZEZ + daytime ban	24/7 or 08:00–20:00
CIS (excl. Astana)	100% (8/8)	Daytime ban (ring-road zones)	06:00–22:00 (≈15 h)
Middle East	100% (5/5)	Peak-hour restriction	06:00–10:00 & 15:00–22:00
South & SE Asia	100% (10/10)	Peak + daytime mode	07:00–11:00 & 16:00–22:00
East Asia	100% (4/4)	Daytime / 24/7	06:00–23:00
Africa	100% (4/4)	Daytime mode	06:00–21:00
Latin America	100% (6/6)	Daytime / peak mode	05:30–21:00
N. America / Oceania	100% (6/6)	Route-based + seasonal	07:00–19:00
Central Asia	100% (5/5)	Daytime mode	07:00–22:00
Astana (current status)	**0% (0/1)**	**Reactive enforcement (patrols)**	**No systematic restriction**

Among CIS capitals alone: Moscow applies a 16-hour ban (06:00–22:00) enforced through a 100% ANPR 'freight framework'; Saint Petersburg and Minsk operate 07:00–22:00 restrictions; Baku and Tbilisi enforce 08:00–20:00 bans [18]. Dubai's Roads and Transport Authority maintains a 16-hour restriction on major roads (06:00–22:00) with ANPR cameras [14]. The proposed Astana window of 07:00–20:00 (13 hours) is notably more lenient than most comparators, preserving an 11-hour overnight logistics window.

The effectiveness of systematic restrictions is empirically documented. London's introduction of the Direct Vision Standard reduced fatal HGV accidents by 67% [6]. Beijing's 17-hour ban within the 4th Ring Road achieved a 52% reduction in PM2.5 attributed to heavy vehicles. Addis Ababa's daytime restriction for all vehicles over 3.5 t reduced peak congestion by 40% [20].

Legal Enforcement Mechanism: Road Sign 3.4 and the AFVR System

The proposed model centres on road sign 3.4 ‘No entry for goods vehicles’, supplemented by time-of-operation plate 8.5.4 specifying the 07:00–20:00 restriction window, installed at primary arterial entry corridors into Astana [9]. The critical advantage is integration with the Automated Fixed Violation Recording (AFVR) system already operational throughout the city – no new camera infrastructure is required.

Operational sequence: AFVR cameras continuously monitor traffic flows; upon detecting a heavy vehicle in violation, the system automatically captures photo and video evidence, records GPS coordinates, vehicle registration number, and precise timestamp; the software then cross-references the vehicle against the MIA of the Republic of Kazakhstan databases, determines vehicle category and permissible mass, and auto-generates an administrative violation notice dispatched via eGov and MIA information systems – without any inspector involvement [7, 8].

Under the Code of Administrative Offences of the Republic of Kazakhstan, the fine for violating road sign 3.4 for medium and large enterprises ranges from 150 to 200 Monthly Calculation Indices (MCI) per recorded violation [7]. Systematic violations (three or more recorded episodes) may trigger administrative suspension of the organisation’s activities. The automated model eliminates the corruption channel inherent in mobile patrol enforcement, recorded at approximately 2 billion KZT per year.

Exceptions provisions are built into the model: emergency services, municipal utility vehicles, and vehicles executing critical construction operations under special akim permits may

be exempted via additional sign plate 8.6 'Except for…'. This preserves operational flexibility while maintaining the integrity of the restriction.

Cost-Benefit Analysis and Implementation Plan

Implementation costs are estimated at 25–45 million KZT in total one-time expenditure: road sign fabrication and installation at arterial entry points – 15–25 M KZT; regulatory-legal support (ordinance drafting, legal review, inter-agency approvals) – 2–5 M KZT; information campaign (SMS notifications to freight operators, official portal publications, industry consultations) – 8–15 M KZT. No capital expenditure on AFVR hardware is required.

Table 3 – Comparison of mobile patrol enforcement vs. 'Road Sign 3.4 + AFVR' model

Indicator	**Mobile patrol enforcement**	**Road sign 3.4 + AFVR system**
Violator coverage	5–10% of traffic flow	≈100% (automated)
Operating mode	Selective, daytime only	24/7, continuous
Corruption risk	~2 bn KZT/year	Effectively eliminated
Implementation cost	Ongoing (high)	25–45 M KZT (one-time)
Annual budget benefit	Not quantified	8.3–15.2 bn KZT
Payback period	N/A	Less than 1 week
Evidence base	Inspector's report	Photo/video + GPS + timestamp

The projected annual economic benefit is 8.3–15.2 billion KZT, structured as follows: reduction in pothole and capital road repair costs – 3.4–6.7 bn KZT; extended pavement inter-repair intervals (2–4 years shift) – 2.0–4.0 bn KZT; AFVR fine revenues – 0.5–1.5 bn KZT; accident reduction savings – 0.27–0.54 bn KZT; ecological damage reduction – 0.20–0.40 bn KZT; anti-corruption savings – ~2.0 bn KZT. The payback period on implementation costs is less than one week, driven by AFVR fine collection from the first month of operation.

Implementation is planned in four sequential stages: Stage I (months 0–2) – ordinance development, route mapping, and AFVR system configuration; Stage II (months 2–5) – sign installation, advisory-mode enforcement, and industry notification campaign; Stage III (month 5 onward) – full automated enforcement with administrative penalty issuance, reorientation of mobile patrols to nighttime weight control; Stage IV (month 12) – comprehensive evaluation of pavement wear, accident statistics, budget impact, and violation trends, followed by potential scale-up to Almaty, Shymkent, and other high-construction-activity cities.

Within the first 90 days of full enforcement, a 30% reduction in daytime heavy construction vehicle trips is projected, based on analogous results from comparable CIS cities following restriction introduction [18, 20].

Conclusion

This study demonstrates that the unrestricted daytime operation of heavy construction vehicles in Astana constitutes a systemic risk to road infrastructure, public ecology, traffic safety, and municipal finances. Actual axle loads from overloaded dump trucks exceed normative values by more than two-fold, generating pavement damage – by the AASHTO fourth-power law – orders of magnitude beyond design specifications.

The international benchmarking of 63 world cities confirms that Astana is the only CIS capital without a permanent daytime restriction on heavy construction vehicles. All comparators – including cities with similar climatic profiles (Ottawa's spring load restrictions), comparable development intensity, and post-Soviet administrative structures – apply at least equivalent, and frequently stricter, measures.

The proposed 'road sign 3.4 + AFVR' model is technically sound, economically viable, legally implementable, and socially beneficial. Its defining advantages are: (1) minimal one-time

investment of 25–45 M KZT; (2) near-100% automated enforcement coverage; (3) elimination of corruption risks worth ~2 bn KZT annually; (4) projected annual net benefit of 8–15 bn KZT; and (5) payback within the first week of operation. The 11-hour overnight logistics window (20:00–07:00) ensures construction supply chains remain viable.

The findings support the preparation of an Astana City Maslikhat ordinance establishing the temporary daytime restriction and are transferable to other high-growth Kazakhstan cities including Almaty, Shymkent, and regional centres. Future research should evaluate the long-term pavement condition response to reduced heavy vehicle loads using continuous road condition monitoring data, and assess the effectiveness of exception-permit systems in minimising construction disruption.

List of references

1. Rys D., Judycki J., Jaskuła P. Determination of Vehicles Load Equivalency Factors for Pavement Structure Design // Transportation Research Procedia. – 2016. – Vol. 14. – P. 2455–2463.

2. European Environment Agency. Sustainability of Europe's Mobility Systems 2025: Air Pollution. – Luxembourg : EU Publications Office, 2026. – 156 p.

3. Union of Concerned Scientists. How to Eliminate Pollution from Heavy-Duty Vehicles. – Cambridge, MA : UCS Publications, 2022. – 48 p.

4. EU countries approve law to slash trucks' CO_2 emissions // Reuters. – 2024. URL: reuters.com (accessed: 14.05.2026).

5. Winkler S.L., Anderson J.E., Garza L. et al. Vehicle criteria pollutant emissions // Climate and Atmospheric Science. – 2018. – Vol. 1. – Art. 12.

6. Transport for London. Annual Report and Statement of Accounts 2023/24. – London : TfL, 2024. URL: content.tfl.gov.uk/tfl-annual-report-and-statement-of-accounts-2023-24.pdf

7. Code of Administrative Offences of the Republic of Kazakhstan No. 235-V ZRK, 5 July 2014.

8. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan, 13 November 2014. Traffic Regulations of the Republic of Kazakhstan.

9. ST RK 1412-2017. Traffic Control Devices. Road Signs. General Technical Requirements and Application Rules.

10. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. – Washington, D.C. : AASHTO, 1993. – 624 p.

11. Equivalent Single Axle Load (ESAL) // Pavement Interactive. URL: pavementinteractive.org (accessed: 14.05.2026).

12. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: PM2.5, PM10, Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. – Geneva: WHO, 2021. – 360 p.

13. C40 Cities. Freight Transport and Urban Emissions Reports. URL: c40.org (accessed: 14.05.2026).

14. Roads and Transport Authority Dubai. Freight Movement Restrictions and Heavy Vehicle Regulation 2024–2025. – Dubai, 2025. URL: rta.ae

15. Integrated Transport Centre Abu Dhabi. Heavy Vehicle Movement Regulations 2025. URL: itc.gov.ae

16. Secretaría Distrital de Movilidad Bogotá. Decreto 840/2019 sobre restricción de transporte pesado. – Bogotá, 2019.

17. CONAMA Chile. Planes de descontaminación atmosférica y regulación del transporte pesado. – Santiago de Chile, 2022.

18. Moscow City Transport Department. 'Freight Framework' System and Heavy Vehicle Movement Restrictions. – Moscow, 2023.

19. Analytical Materials of the Transport Inspection Authority of the Republic of Kazakhstan on Weight Parameters of Motor Vehicles. – Astana, 2024.

20. International Analytical Register of Heavy Vehicle Movement Restrictions in 63 World Cities. – Astana, 2025.

Information on authors:

Mukhambetkaliyev K.K. – Candidate of Technical Sciences, Director of the Department of Science Development, KazDorNII JSC, Astana, Kazakhstan. k.mukhambetkaliev@kazdornii.kz

Sadvokasov A.I. – MBA, Lead Specialist, Department of Science Development, KazDorNII JSC, Astana, Kazakhstan.

Aimagambetova R.J. – Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the Department of Science Development, KazDorNII JSC, Astana, Kazakhstan. r.aimagmbetova@kazdornii.kz

Sandybay S.D. – PhD, Research Assistant at the Department of Civil and Environmental Engineering , Nazarbayev University, Astana, saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Мұхамбетқалиев Қ.Қ. – техника ғылымдарының кандидаты, «ҚазДорҒЗИ» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің директоры, Астана, Қазақстан. k.mukhambetkaliev@kazdornii.kz

Садвокасов А.И. – MBA дәрежесінің иегері, «ҚазДорҒЗИ» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің жетекші маманы, Астана, Қазақстан.

Аймағамбетова Р.Ж. – техника ғылымдарының кандидаты, «ҚазДорҒЗИ» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің жетекші ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан. r.aimagmbetova@kazdornii.kz

Сандыбай С.Д. – PhD докторы, Назарбаев Университетінің Азаматтық және экологиялық инженерия кафедрасының ғылыми ассистенті, Астана, Қазақстан. saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Мухамбеткалиев К.К. – кандидат технических наук, директор Департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КазДорНИИ), Астана, Казахстан. k.mukhambetkaliev@kazdornii.kz

Садвокасов А.И. – обладатель степени MBA, ведущий специалист Департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КазДорНИИ), Астана, Казахстан.

Аймагамбетова Р.Ж. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КазДорНИИ), Астана, Казахстан. r.aimagmbetova@kazdornii.kz

Сандыбай С.Д. – доктор PhD, научный ассистент кафедры гражданского и экологического строительства Назарбаев Университета, Астана, Казахстан. saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Authors contributions:

Aimagambetova R.J. – concept, methodology, overall supervision, editing.

Sadvokasov A.I. – data collection, international benchmarking, economic modelling, visualisation, manuscript writing.

Sandybay S.D. – literature review, formal analysis, data validation, and drafting of technical sections.

Mukhambetkaliyev K.K. – project administration, resource provisioning, funding acquisition, and final approval of the manuscript.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Use of artificial intelligence (AI): AI-assisted tools were used for structural formatting and consistency review of the manuscript in accordance with COPE guidelines.

АСТАНА ҚАЛАСЫНДА АУЫР ҚҰРЫЛЫС АРНАЙЫ ТЕХНИКАСЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН РЕТТЕУ: УАҚЫТША ШЕКТЕУЛЕРДІ ЕНГІЗУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Мухамбеткалиев К.К.[1], Садвокасов А.И.[1], Аймагамбетова Р.Ж. [1,*], Сандыбай С.Д. [2]

[1]Ғылымды дамыту департаменті, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.
[2]Азаматтық және экологиялық құрылыс кафедрасы, Инженерия және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев Университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы.
[*]Корреспондент автор: r.aimagambetova@kazdornii.kz

Аннотация. Мақалада Астана қаласындағы ауыр құрылыс арнайы техникасының күндізгі уақытта жол жүруі мәселесі, оның жол инфрақұрылымына, экологиялық жағдайға және жол қауіпсіздігіне кешенді теріс әсері қарастырылады. AASHTO төртінші дәрежелі заңы бойынша есептеулер жүктелген самосвалдар артқы осінде 36 т нормативтен (16 т) асатынын және бір рейс үшін 25 600 жеңіл автомобильге баламалы зиянды ықпал жасайтынын растайды. 63 қалалық тәжірибені зерттеу Астананың ТМД-дағы жүйелі шектеусіз жалғыз астана екенін дәлелдейді. Ұсынылатын модель – 3.4 жол белгісі + ЖКАЖ – 25-45 млн теңге бір жолғы шығынмен 8-15 млрд теңге жылдық экономикалық тиімділік беруі болжануда.

Түйін сөздер: ауыр құрылыс техникасы, артық жүктеу, 3.4 жол белгісі, ЖКАЖ, жол инфрақұрылымы, Астана, қозғалысты шектеу.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЁЛОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СПЕЦТЕХНИКИ В ГОРОДЕ АСТАНА: ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Мухамбеткалиев К.К.[1], Садвокасов А.И.[1], Аймагамбетова Р.Ж. [1,*], Сандыбай С.Д. [2]

[1]Департамент развития науки, АО «КазДорНИИ», г. Астана, Республика Казахстан.
[2]Кафедра гражданского и экологического строительства, Школа инженерии и цифровых наук, Назарбаев Университет, г. Астана, Республика Казахстан.
[*]Корреспондент автор: r.aimagambetova@kazdornii.kz

Аннотация. В статье рассматривается проблема движения тяжёлой строительной спецтехники в дневное время в Астане и её комплексное негативное воздействие на дорожную инфраструктуру, экологию и безопасность дорожного движения. На основе закона четвёртой степени AASHTO установлено, что фактические осевые нагрузки перегруженных самосвалов (до 36 т при норме 16 т) формируют разрушительное воздействие, эквивалентное 25 600 легковых автомобилей за один рейс. Сравнительный анализ 63 городов мира подтверждает, что Астана является единственной столицей СНГ без системного ограничения. Предложенная модель «знак 3.4 + АСФП» требует 25-45 млн тенге единовременных затрат и обеспечивает ежегодный экономический эффект в 8-15 млрд тенге.

Ключевые слова: тяжёлая строительная спецтехника, перегруз, дорожный знак 3.4, АСФП, дорожная инфраструктура, Астана, ограничение движения.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШҰҒЫЛ КОНТИНЕНТАЛДЫ КЛИМАТЫ ЖАҒДАЙЫНДА АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ ЖАБЫНДАРЫНЫҢ МЕРЗІМІНЕН БҰРЫН ТОЗУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚАЙТА ЖӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ СТРАТЕГИЯЛАРЫ

Габдулина Т.М.[1], Сандыбай С.Д.[1,*]

[1]Азаматтық құрылыс және қоршаған ортаны қорғау факультеті, Инженерлік және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан Республикасы
*Корреспондент автор: saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Аңдатпа. Автомобиль жолдары мемлекет экономикасы мен әлеуметтік инфрақұрылымының тірегі, алайда Қазақстанның шұғыл континенталды климаты жағдайында жол жабындары жобалық қызмет мерзіміне жетпей тозуға ұшырайды. Бұл зерттеудің мақсаты, температуралық, ылғалдық және көліктік факторлардың әсерінен туындайтын тозу түрлерін жүйелеу, Назарбаев Университеті аумағындағы жабындарды далалық аспаптық бағалау, және аймақтық ерекшеліктерді ескере отырып, қайта жөндеудің тиімді стратегияларын негіздеу. Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы отандық нормативтік база (ҚР СТ, МЕМСТ) мен халықаралық тәжірибені (AASHTO, PCI, IRI) үйлестіріп, жабынды диагностикалаудың және қалпына келтірудің кешенді тәсілін ұсынуында. Әдістеме 2022–2025 жылдардағы ғылыми еңбектерге салыстырмалы талдауды, далалық инструменталды бағалауды (нивелир, өлшеуіш аспаптар, 4 нысан) және арнайы тозу коэффициентін сандық есептеуді қамтиды. Солтүстік аймақта бойлық және көлденең жарықтар, оңтүстікте плиталардың қисаюы басым; НУ аумағының далалық бақылауы жарықтардың кең таралғанын, дөңгелек ойықтарының нормативтік шегінен аспайтынын (8,4 мм) растады. Қайта өңделген ПЭТ-пен модификацияланған битум (3% концентрация) жабынның жарыққа төзімділігін 42%-ға дейін арттырады. Алынған нәтижелер салқын ресайклинг, ПМБ және геосинтетиканы біріктіретін аймақтық бейімделген жөндеу шешімдеріне практикалық негіз береді.

Түйін сөздер: автомобиль жолы, жол жабынының тозуы, шұғыл континенталды климат, далалық аспаптық бағалау, салқын ресайклинг, полимермен модификацияланған битум, геосинтетикалық материалдар

Кіріспе

Автомобиль жолдары елдің көлік-логистикалық жүйесінің негізін құрайды және оның экономикалық әрі әлеуметтік дамуына тікелей ықпал етеді. Жол жабынының сапасы төмендегенде көлік шығындары артып, апаттылық деңгейі көтеріледі, ал инфрақұрылымдық жобалардың құны жоспардан асып кетеді [1]. Аумағы кең әрі жол желісі ұзақ Қазақстан үшін бұл мәселе ерекше өзекті: жабындардың мерзімінен бұрын тозуы жыл сайынғы жөндеу шығындарын еселеп, желінің тұрақты жұмыс істеуіне кедергі келтіреді.

Мәселенің басты себебі, ол еліміздің шұғыл континенталды климаты. Солтүстік өңірлерде қыста ауа температурасы −40 °С-қа дейін түсіп, жазда жоғарылайды; оңтүстік аймақтарда жабынның беткі температурасы 45 °С-тан асады. Мұндай температуралық амплитуда асфальтбетон мен цементбетон жабындарда созылу кернеулерін тудырса, мұздату-еріту циклдары топырақ негізінің тұрақсыздануына жол ашады [2]. Климаттық ерекшеліктер ескерілмей ескірген әдістермен жобаланған жолдар техникалық қызмет көрсетуге қолайсыз болып шығады [3].

Тақырыпты зерттеуге отандық және шетелдік ғалымдар елеулі үлес қосты. Б. Телтаев пен әріптестері Қазақстан жолдарындағы температура мен ылғалдың таралуын, мұздату-еріту процестерінің механизмін терең зерттеп, солтүстік аймақта жабынның негізгі бұзылуы көлденең және бойлық жарықтар екенін көрсетті [1]. Д. Сақанов оңтүстік өңірдегі цементбетон жабындардың экстремалды ыстық климат жағдайында плиталарының қисаюын эксперименталды түрде дәлелдеді [3]. А.Әлібаева полимерлі-модификациялаушы қоспалардың төмен сортты битумның қартаюға төзімділігін арттыратынын негіздеді [4], ал Ж. Шахмов пен Қ. Хафиз топырақ негізінің мұздануы мен еруін ескеру қажеттігін атап өтті [2]. Алайда аймақтық климаттық ерекшеліктерге бейімделген, материалды модификациялауды, салқын ресайклингті және геосинтетиканы біріктіретін кешенді жөндеу стратегиясы жеткілікті жүйеленбеген – бұл осы жұмыста толтырылатын ғылыми олқылық.

Зерттеудің мақсаты – Қазақстанның шұғыл континенталды климаты жағдайындағы жол жабындарының тозу түрлерін аймақтық тұрғыда жүйелеу, Назарбаев Университеті аумағындағы нақты бұзылуларды далалық аспаптық бағалау нәтижелерімен дәлелдеу және ҚР СТ, МЕМСТ, AASHTO стандарттарына сүйене отырып, қайта жөндеудің тиімді стратегияларын негіздеу.

Әдістеме

Зерттеу әдістемесі екі негізгі блоктан тұрады: (1) ғылыми әдебиеттерге жүйелі салыстырмалы талдау және (2) Назарбаев Университеті (НУ) аумағындағы далалық аспаптық бағалау.

Бірінші блок аясында 2021–2025 жылдар аралығындағы өзекті еңбектерге шолу жасалды. Солтүстік Қазақстан (жартылай қатты жабындар) мен оңтүстік өңір (цементбетон жабындар) салыстырылды. Оған қоса, жол жабындары бұзылуының климаттық факторларға тәуелділігі мен материалдық инновациялардың тиімділігі талданды.

Екінші блок – далалық бағалау – НУ аумағындағы 4 нысанды (Сурет 1) қамтыды: №1 – автобус аялдамасы, №2 – Қабанбай Батыр көшесі жағынан басты кіреберіс, №3 – 3, 5, 7-блоктар ауласындағы автотұрақ, №4 – Тұран даңғылы жағынан аула. Бағалау процедурасы кезең-кезеңімен орындалды:

(а) нысанды визуалды тексеру және бұзылу түрлерін AASHTO/LTPP жіктемесі бойынша сәйкестендіру;

(б) дөңгелек ойықтарының тереңдігін ($Д_2$, $Д_3$) нивелир және өлшеуіш сызғыш арқылы әрбір 5 метр сайын өлшеу;

(в) жарықтардың ені мен ұзындығын өлшеу;

(г) деректерді жабынның жай-күйі индексі (PCI) мен халықаралық тегістік индексі (IRI) тұрғысынан өңдеу [2], [5].

Жабынның жалпы тозу деңгейін сандық бағалау үшін бұзылулардың ауданы мен ауырлығын ескеретін тозу коэффициенті ұсынылды:

$$K_{тозу} = (\Sigma A_i \cdot w_i) / A_{жалпы} \qquad (1)$$

мұндағы: $K_{тозу}$ – жабынның жалпыланған тозу коэффициенті (0-1); A_i – i-ші бұзылу түрінің ауданы, м²; w_i – сол бұзылу түрінің ауырлық салмақтық коэффициенті (төмен – 0,3; орташа – 0,6; жоғары – 1,0); $A_{жалпы}$ – тексерілген жабынның жалпы ауданы, м². Коэффициент мәні 1-ге жақындаған сайын төсемелерінің тозу дәрежесі жоғары болады.

Нәтижелер және талқылау

Аймақтық талдау: Солтүстік және Оңтүстік Қазақстан

Жүргізілген талдау Қазақстан жолдарына тән бұзылулардың кең спектрін айқындады: дөңгелек ойықтары, бойлық және көлденең жарықтар, шаршау жарықтары, шұңқырлар, блоктық жарықтар және жылтыраған агрегаттар. Бұзылулардың таралуы мен ауырлығы аймақтық климатқа тікелей тәуелді болып шықты. Негізгі сандық көрсеткіштер 1-кестеде жинақталған.

Кесте 1 – Жол жабындарының тозу көрсеткіштері

Тозу (бұзылу) түрі	**Аймақ / нысан**	**Өлшенген мән**	**Норматив шегі**	**Ауырлық деңгейі**
Көлденең жарықтар (саны)	Солтүстік ҚР, км 457–496	821 жарық	–	Жоғары
Бойлық жарықтар (саны)	Солтүстік ҚР, км 457–496	75 жарық	–	Орташа
Блоктық жарықтар (аумақ)	Солтүстік ҚР учаскесі	19–310 м²	–	Төмен
Дөңгелек ойықтары (тереңдік)	Солтүстік ҚР учаскесі	2,5–18,7 мм	≤ 20 мм	Орташа
Дөңгелек ойықтары (тереңдік)	НУ аумағы, аялдама	8,4 мм	≤ 20 мм	Жақсы
Көлденең жарық (ені)	НУ аумағы, кіреберіс	3,0 см	≤ 19 мм*	Орташа
Плиталардың қисаюы	Оңтүстік ҚР, бетон жабын	беткі t° > 45 °C	–	Жоғары
Мұздану тереңдігі	Солтүстік → Оңтүстік ҚР	270 → 60 см	–	–

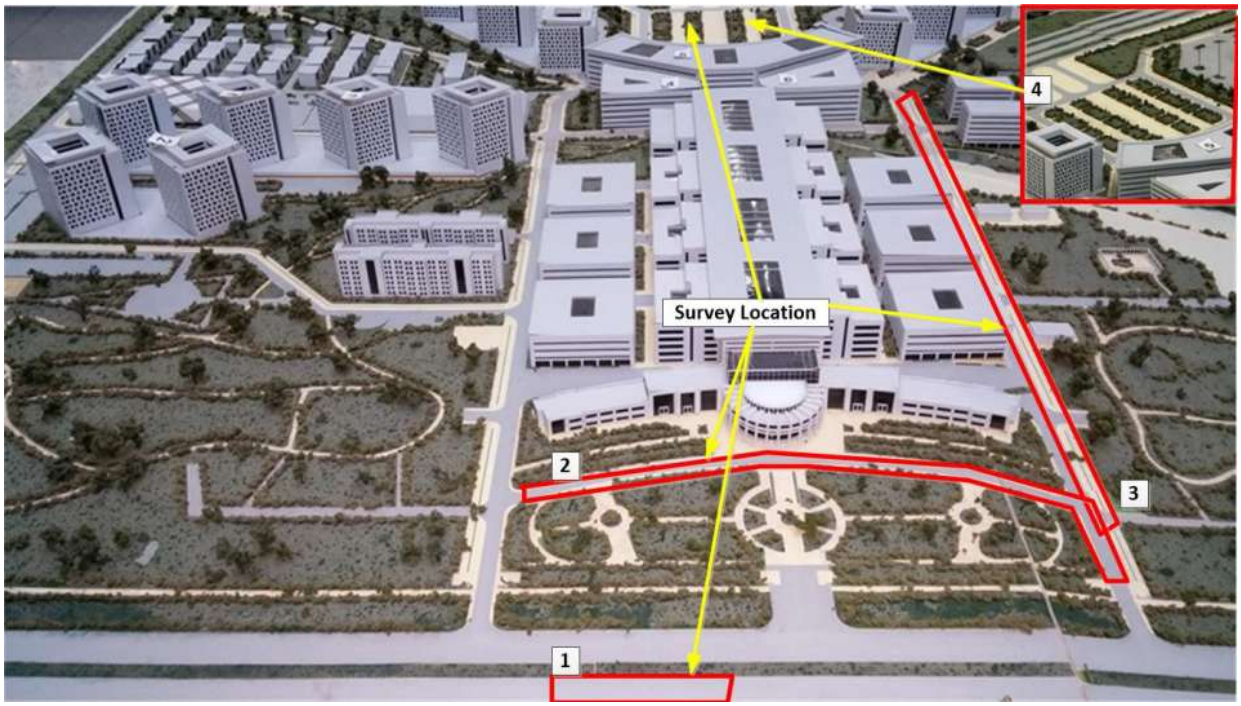
** AASHTO/LTPP жіктемесі бойынша жарық енінің орташа ауырлық шегі.*

Солтүстік Қазақстанда (Телтаев зерттеген «Екатеринбург–Алматы» бағытының учаскесінде) 457–496-шы километрлер аралығында 821 көлденең және 75 бойлық жарық тіркелген – бұл температуралық циклдардың басым әсерін көрсетеді. Блоктық жарықтардың жалпы ауданы 3500 м² учаскеде 19-дан 310 м²-ге дейін ауытқыды; дөңгелек ойықтары 2,5–18,7 мм аралығында, нормативтік 20 мм шегіне жуық болғандықтан бақылауды қажет етеді [1].

Оңтүстік Қазақстанда басты проблема – цементбетон плиталардың термиялық деформациясы. Беткі температура 45 °C-тан асқанда плиталарда дифференциалды кеңею мен ылғал жоғалуы орын алып, олардың қисаюы мен жиектерінің бұралуы байқалады; бұл портландцементтің минералды құрамын қатаң бақылаудың болмауымен күшейеді [3]. Мұздану тереңдігінің ел бойынша солтүстіктегі 260–270 см-ден оңтүстіктегі 60–70 см-ге дейін өзгеруі жобалау кезінде аймақтық тәсілдің қажеттігін айқындайды [2].

Назарбаев Университеті аумағындағы далалық зерттеу

НУ аумағы Орталық Қазақстанда орналасқанымен, климаты солтүстік өңірге ұқсас: қаңтарда −20 °C-қа дейін суытып, шілдеде +26 °C-ға дейін қызады. Зерттеу барысында 4 нысан бойынша аспаптық бағалау жүргізілді (Сурет 1).



Сурет 1 – НУ аумағындағы далалық зерттеу нысандарының орналасу схемасы

№1 нысан – Автобус аялдамасы

Аялдама аумағында екі түрлі бұзылу анықталды: дөңгелек ойықтары және жылтыраған агрегаттар (Сурет 2). Ауыр автобустардың үнемі тоқтауы мен тежелуі жабында пластикалық деформация тудырады. Ойықтардың тереңдігі нивелир арқылы 5 м сайын өлшенді (2-кесте).



Сурет 2 – Жылтыраған агрегаттар

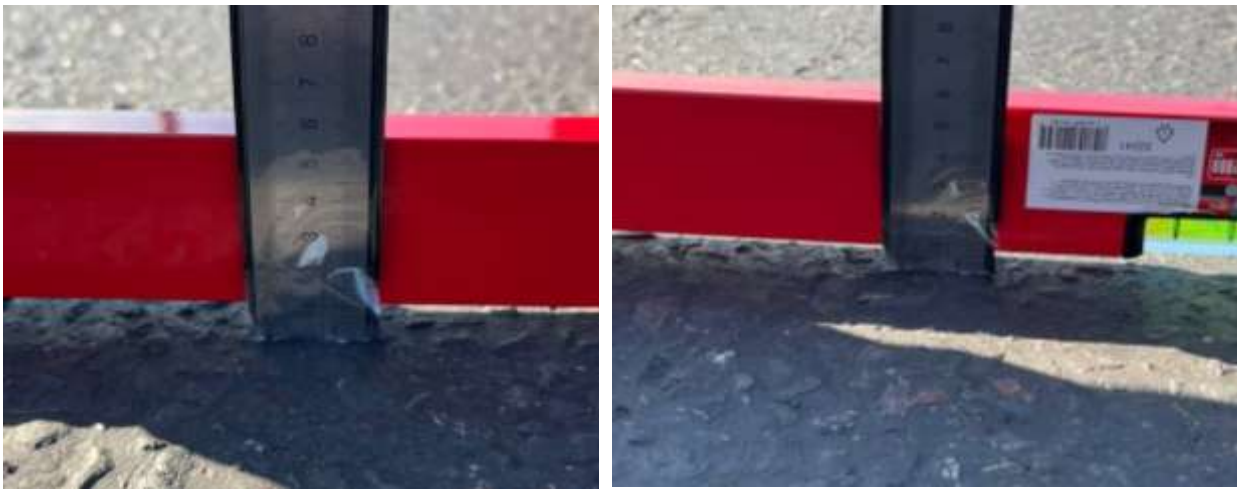
Кесте 2 – Автобус аялдамасындағы дөңгелек ойықтарының тереңдігі

Өлшеу нүктесі	**Сол жақ дөңгелек жолы, Д₂, мм**	**Оң жақ дөңгелек жолы, Д₃, мм**	**Ескерту**
0 м	9	10	
5 м	9	15	
10 м	7	12	
15 м	2	12	
20 м	4	15	
Орташа	6,2	10,6	K_тозу = 0,42 (жақсы)

Д₁ (дөңгелектер арасындағы тереңдік) = 0 мм деп алынды. Орташа тереңдік:

$$D_{ойық} = (Д_2 + Д_3) / 2 – Д_1 = (6,2 + 10,6) / 2 – 0 = \mathbf{8,4\ мм} \quad (2)$$

AASHTO нормативтері бойынша 5–10 мм аралықтағы ойық «жақсы» жай-күйге сәйкес келеді; жүргізушілерге айтарлықтай әсер тигізбейді. Тозу коэффициенті K_тозу = 0,42, яғни нысан профилактикалық бақылауды қажет ететін «жақсы» санатта. Беттің жылтырауы орташа деңгейде бағаланды; тайып кетудің алдын алу үшін жұқа ыстық асфальтбетон (HMA) қабатын төсеу және агрегаттардың үйкеліс қасиеттерін жақсарту ұсынылады.



Сурет 3 – Сол және оң жақ дөңгелек жолы тереңдігі

№2 нысан – Қабанбай Батыр көшесі жағынан кіреберіс

Нысан екі учаскеге бөлінді. Университеттің кіреберіс бөлігінде жолдың еніне тең (12 м) көлденең жарық анықталды; жарықтың орташа ені 5 өлшеу нүктесінде 3 см болды. Ені 30 мм-ден асатын жарық AASHTO/LTPP бойынша «жоғары» ауырлық дәрежесіне жатады. Себебі – Астананың шұғыл континенталды климатында жол жазда кеңейіп, қыста тартылуы: созылу кернеуі жабынның беткі көлденең жарылуына алып келеді.



Сурет 4 – Көлденең жарық және бұрыштық жарықшақ

Автокөлік кіреберіс қиылысында бұрыштық жарықшақ байқалды. Ықтимал себептері – жол полотносының біркелкі тегістелмеуі, сондай-ақ ауыр жүктемені шыдай алмайтын негіз бен іргетас қабаттарының нашар тығыздалуы. Жөндеу шарасы ретінде жарықтарды мастика немесе эпоксидті қоспамен тығыздау және негіздің беріктігін арттыру ұсынылады.

№3 нысан – Автотұрақ (3, 5, 7-блоктар ауласы)

Зерттелген нысандардың ішіндегі ең күрделі жайсыз жағдай осы нысанда тіркелді. Жабын бетінде бірнеше бұзылу түрі бір мезгілде байқалды. Басым бұзылу – ені 3–5 см-ге дейін жеткен көлденең жарықтар (ауырлық деңгейі жоғары, кездесу жиілігі өте жоғары). Бойлық жарықшақтар да тіркелді (ауырлық деңгейі орташа, жиілігі сирек). Бұлардан басқа шаршаудан болған жарықтар мен шұңқырлар анықталды (ауырлық деңгейі жоғары, жиілігі минималды).

Шұңқырлар мен шаршау жарықтарының бір мезгілде кездесуі – негіз қабатының жеткіліксіздігі, жабын қалыңдығының кемістігі және судың сіңу мәселесінен туындайды. Тозу коэффициенті (1) формуласы бойынша есептелді: орта ауырлықтағы бойлық жарықтар w = 0,6, жоғары ауырлықтағы көлденең жарықтар w = 1,0, шаршау жарықтары w = 1,0. Нысанда жабынның жалпы тозу коэффициенті K_тозу ≈ 0,72 болды, бұл орта дәрежелі тозуды және кешенді жөндеудің қажеттігін көрсетеді. Ұсынылатын шара: жарықтарды тығыздау, қабаттастыру (overlay), ал шұңқырлар орнында – жаппай жамау жұмыстары.



Сурет 5 – Көлденең және бойлық жарықтар



Сурет 6 – Жолдың шаршауына байланысты жарықтар мен шұңқырлар

№4 нысан – Тұран даңғылы жағынан аула

№4 нысан НУ аумағының батыс жағында орналасқан. Бұл жерде де негізгі бұзылу түрі – температуралық циклдардан туындайтын көлденең жарықтар. Қаңтарда −20 °C, шілдеде +26 °C температуралық амплитудасы жолда жылдам кеңею-жиырылу динамикасын тудырады. 4 өлшеу нүктесінде жарықтардың ені 6–19 мм аралығында болды – LTPP нұсқаулығы бойынша «орташа» ауырлық деңгейіне сәйкес. Сондай-ақ бірлі-жарым бойлық жарықтар да тіркелді.

Жөндеу шарасы ретінде жарықтарды асфальт мастикасымен толтыру және жамау (patching) ең тиімді, шығын тиімді тәсіл болып табылады.



Сурет 7 – Көлденең жарықшақтар

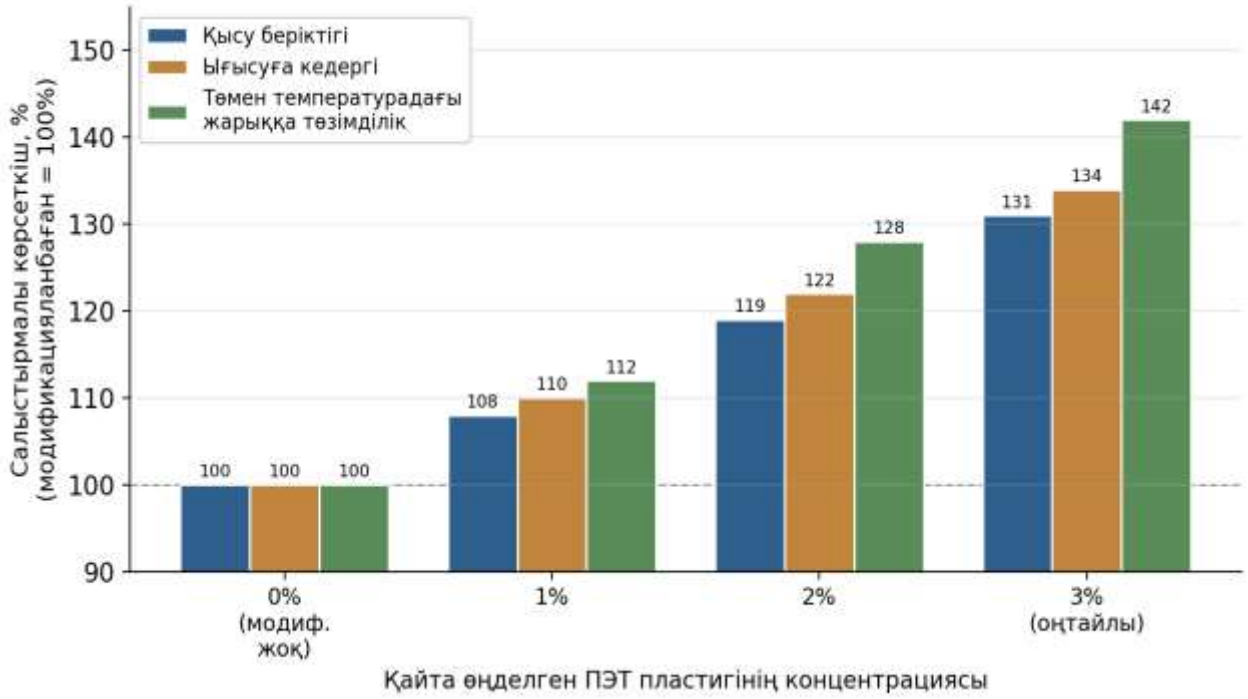


Сурет 8 – Бойлық пен көлденең жарықтар

Жөндеу стратегиялары мен материалдық шешімдер

Далалық бақылау нәтижелері барлық 4 нысанда температуралық жарықтардың басымдығын растады – бұл Телтаевтың солтүстік аймаққа арналған тұжырымдарымен толық үндеседі [1]. Барлық бұзылулардың түпкі себебі – стандартты битумның температураға жоғары сезімталдығы: жазда жұмсарып деформацияланады, қыста сынғыш болып жарылады. Сондықтан зерттеудің материалдық бөлігі осы мәселені шешетін инновациялық шешімдерге бағытталды.

Қайта өңделген ПЭТ пластигімен модификацияланған битумды талдау (Сурет 1) оңтайлы концентрация 3% екенін көрсетті: қысу беріктігі 31%-ға, ығысуға кедергі 34%-ға, ал төмен температурадағы жарыққа төзімділік 42%-ға артады [4]. Бұл Қазақстанның суық климаты үшін шешуші маңызды, өйткені дәл температуралық жарықтар жабынның бас бұзылуы болып табылады. Химиялық модификаторлар битумның RTFOT қартаюы кезіндегі ену мәнін сақтап, жабынның қызмет ету мерзімін ұзартады.



Сурет 9 – Ресайклинг әдісінің тиімділігі: қайта өңделген ПЭТ концентрациясының жабын қасиеттеріне әсері

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, үш стратегияны біріктіретін кешенді тәсіл ұсынылады. Солтүстік өңірде (НУ аумағы климатына ұқсас) – температуралық жарыққа төзімді ПМБ мен геосинтетикалық геоторлар; оңтүстік өңірде – бетон плиталардың термиялық тұрақтылығына және портландцементтің минералды құрамын бақылауға басымдық беру; ал орташа тозу деңгейіндегі нысандарда (НУ аумағы №1, №4) – салқын ресайклинг арқылы ескі жабынды орнында қайта өңдеу, материал шығынын және CO_2 өнімін азайту.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу Қазақстанның шұғыл континенталды климаты жағдайында жол жабындарының тозу заңдылықтарын аймақтық тұрғыда жүйелеп, Назарбаев Университеті аумағындағы далалық бақылаулармен дәлелдеді. Солтүстік өңірде басым бұзылулар – температуралық циклдардан туындайтын көлденең және бойлық жарықтар, ал оңтүстік өңірде – экстремалды ыстықтан болатын цементбетон плиталардың қисаюы анықталды. НУ аумағындағы 4 нысанда жүргізілген аспаптық бағалауда жарықтардың кең таралғаны расталды; дөңгелек ойықтарының тереңдігі (8,4 мм) нормативтік шегінен аспады. Автотұрақ аймағы (№3 нысан) ең ауыр жай-күйде болды: K_тозу ≈ 0,72, кешенді жөндеуді қажет ететін деңгей.

Ұсынылған тозу коэффициенті (1) жабынның жай-күйін объективті сандық бағалаудың бірыңғай өлшемі ретінде пайдаланыла алады. Қайта өңделген ПЭТ-пен модификацияланған битум (3% концентрация) төмен температурадағы жарыққа

төзімділікті 42%-ға дейін арттыратыны жөндеу шығынын азайтудың нақты жолы болып табылады.

Болашақ зерттеулерде модификацияланған қоспалар мен геосинтетикалық шешімдердің нақты эксплуатациялық жағдайдағы ұзақ мерзімді мониторингін жүргізу, тозу коэффициентінің салмақтық параметрлерін отандық климаттық деректерге сүйене дәлдеу және әр аймаққа арналған типтік жөндеу регламенттерін әзірлеу ұсынылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Teltayev B., Oliviero Rossi C., Aitbayev K., Suppes E., Yelshibayev A., Nugmanova A. Freezing and Thawing Processes of Highways in Kazakhstan // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12, № 23. – Art. 11938. https://doi.org/10.3390/app122311938

2. Шахмов Ж.А., Хафиз Қ. Анализ исследования состояния автомобильных дорог с учетом промерзания и оттаивания земляного полотна в климатических условиях Казахстана // Вестник КазАТК. – 2021. – Т. 119, № 4. – С. 7–13. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2021-119-4-7-13

Shakhmov Zh.A., Khafiz Q. Analiz issledovaniya sostoyaniya avtomobilnykh dorog s uchetom promerzaniya i ottaivaniya zemlyanogo polotna v klimaticheskikh usloviyakh Kazakhstana // Vestnik KazATK. – 2021. – Vol. 119, No. 4. – P. 7–13. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2021-119-4-7-13

3. Sakanov D., Saginov Z., Mominova S., Ussenkulov Z., Kim Kwang Don. Behavioral characteristics of cement concrete pavement in South Kazakhstan: climatic changes and optimal construction method // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 142–149.

4. Alibayeva A., Amirbayev Y., Mukhambetkaliyev K., Smagulova M., Zhumamuratov M. Enhancing sustainable pavement materials: assessing modifying additives in bitumen for improved environmental performance // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 614. – Art. 04012. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561404012

5. Teltayev B. Temperature and moisture monitoring in pavement and subgrade in Kazakhstan // Smart Geotechnics for Smart Societies. – London: CRC Press, 2023. – P. 92–101.

Авторлар туралы мәліметтер:

Габдулина Т.М. – Азаматтық құрылыс және қоршаған ортаны қорғау факультетінің бакалавр, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан, takhmina.gabdulina@nu.edu.kz

Сандыбай С.Д. – Азаматтық құрылыс және қоршаған ортаны қорғау факультетінің доктор PhD, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан, saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Габдулина Т.М. – бакалавр факультета гражданского строительства и охраны окружающей среды Назарбаев Университета, Астана, Казахстан. takhmina.gabdulina@nu.edu.kz

Сандыбай С.Д. – доктор PhD факультета гражданского строительства и охраны окружающей среды Назарбаев Университета, Астана, Казахстан. saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Gabdulina T.M. – Bachelor's degree, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. takhmina.gabdulina@nu.edu.kz

Sandybay S.D. – PhD, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Авторлардың үлесі:

Габдулина Т.М. – тұжырымдама, әдістеме, деректерді жинау, талдау, визуализация, интерпретация, мәтінді дайындау, редакциялау.

Сандыбай С.Д. – әдістеме, ресурстар, тестілеу, талдау, мәтінді редакциялау, ғылыми жетекшілік.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану: Осы мақаланы дайындау барысында жасанды интеллект (үлкен тілдік модель) көмекші құрал ретінде қолданылды: мәтінді құрылымдау, академиялық қазақ тілінде стильдік өңдеу, әдеби деректерді жүйелеу және кестелер мен суреттің мазмұнын ретке келтіру кезеңдерінде пайдаланылды. Барлық ғылыми тұжырымдар, деректерді түсіндіру және қорытындылар авторлардың өзіндік талдауына негізделген әрі олардың тексеруінен өтті. AI COPE ұсыныстарына сәйкес этикалық және ашық түрде қолданылды; ол автор ретінде көрсетілмейді.

ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЙ ИЗНОС ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА КАЗАХСТАНА И СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ИХ РЕМОНТА

Габдулина Т. М.[1], Сандыбай С. Д.[1, *]

[1]Факультет гражданского строительства и охраны окружающей среды, школа инженерных и цифровых наук, Назарбаев Университет, Астана, Республика Казахстан
*Корреспондент автор: saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Аннотация. Автомобильные дороги являются опорой экономики и социальной инфраструктуры государства, однако в условиях резко континентального климата Казахстана дорожное покрытие подвергается износу до достижения проектного срока службы. Целью данного исследования является систематизация видов износа, возникающих под воздействием температурных, влажных и транспортных факторов, полевая инструментальная оценка покрытий на территории Назарбаев Университета и обоснование эффективных стратегий реконструкции с учетом региональных особенностей. Научно-практическая значимость работы заключается в согласовании отечественной нормативной базы (СТ РК, ГОСТ) и международного опыта (AASHTO, PCI, IRI) и предоставлении комплексного подхода к диагностике и восстановлению покрытия. Методика включает сравнительный анализ научных работ 2022-2025 гг., полевую инструментальную оценку (нивелир, измерительные приборы, 4 объекта) и количественный расчет специального коэффициента износа. В северной зоне преобладают продольные и поперечные трещины, на юге-кривизна плит; Полевое наблюдение территории НУ подтвердило широкое распространение трещин, не превышающих нормативный предел круглых проемов (8,4 мм). Битум, модифицированный переработанным ПЭТ (концентрация 3%), увеличивает светостойкость покрытия до 42%. Полученные результаты дают практическую основу для региональных адаптированных решений по ремонту, сочетающих холодный ресайклинг, ПМБ и геосинтетику.

Ключевые слова: автомобильная дорога, износ дорожного покрытия, резко континентальный климат, полевая инструментальная оценка, холодный ресайклинг, битум, модифицированный полимером, геосинтетические материалы

PREMATURE DETERIORATION OF ROAD PAVEMENTS UNDER THE SHARPLY CONTINENTAL CLIMATE OF KAZAKHSTAN AND MODERN STRATEGIES FOR THEIR REHABILITATION

Gabdulina T. M. [1], **Sandybay S. D.** [1, *]

[1]Civil and Environmental Engineering Department, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan
*Corresponding author: saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Abstract. Highways are the backbone of the economy and social infrastructure of the state, but in the conditions of the extreme continental climate of Kazakhstan, road surfaces are subject to wear and tear before reaching the project service life. The purpose of this study is to systematize the types of wear caused by temperature, moisture and transport factors, to conduct an instrumental field assessment of coatings on the territory of Nazarbayev University, and to justify effective reconstruction strategies taking into account regional characteristics. The scientific and practical significance of the work lies in the combination of the domestic regulatory framework (St RK, GOST) and international experience (AASHTO, PCI, IRI) to provide an integrated approach to the diagnosis and restoration of coatings. The methodology includes a comparative analysis of scientific papers for 2022-2025, a field instrumental assessment (leveling, measuring instruments, 4 objects) and a quantitative calculation of a special wear coefficient. In the northern zone, longitudinal and transverse cracks predominate, in the southern zone, the curvature of the plates. Field control of the NU territory confirmed that cracks are widespread, do not exceed the regulatory limits of wheel grooves (8.4 mm). Bitumen modified with recycled PET (3% concentration) increases the light resistance of the coating to 42%. The results obtained provide a practical basis for regionally adapted repair solutions that combine cold resiling, PMB and geosynthetics.

Keywords: highway, road surface wear, emergency continental climate, field instrumental assessment, cold recycling, polymer-modified bitumen, geosynthetic materials.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТИ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ДОРОЖЕК В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ГОРОДОВ

А. М. Карабаев [1,*], А. А. Нормухаммадов [1]

[1]Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан
[*]Корреспондент-автор: ab.karabayev@gmail.com

Аннотация. В условиях ускоренной урбанизации и роста автомобилизации в развивающихся городах возрастают проблемы транспортной перегруженности, ухудшения экологической ситуации и снижения качества городской среды. В этой связи развитие велосипедной инфраструктуры рассматривается как один из приоритетных элементов устойчивой городской мобильности. Однако эффективность внедрения велосипедного транспорта во многом определяется научно обоснованным планированием сети велосипедных дорожек.

Целью данной статьи является систематизация и сравнительный анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек с учетом специфики развивающихся городов. В работе рассмотрены нормативно-планировочные, транспортно-моделирующие, пространственные (GIS-основанные), социальные, экологические и экономические методы формирования велосипедных сетей. Особое внимание уделено оценке их применимости в условиях ограниченных ресурсов, дефицита исходных данных и фрагментарной городской застройки.

Результаты исследования показывают, что наибольшей эффективностью обладают комбинированные подходы, основанные на интеграции нормативных требований, пространственного анализа, оценки безопасности движения и социально-экологических критериев. Полученные выводы могут быть использованы при разработке стратегий развития велосипедной инфраструктуры и формировании устойчивых транспортных систем в развивающихся городах.

Ключевые слова: велосипедная инфраструктура, велосипедные дорожки, транспортное планирование, устойчивое развитие, городская мобильность, развивающиеся города.

Введение

Быстрые темпы урбанизации и рост уровня автомобилизации являются характерной особенностью развивающихся городов XXI века. Увеличение численности личного автотранспорта приводит к хронической перегруженности улично-дорожной сети, росту выбросов загрязняющих веществ, повышению уровня шума и ухудшению экологического состояния городской среды [7], [8]. Многочисленные исследования подтверждают, что традиционные меры транспортного планирования, ориентированные преимущественно на расширение проезжей части и пропускной способности магистралей, не обеспечивают устойчивого решения данных проблем в долгосрочной перспективе [7].

В этих условиях велосипедный транспорт рассматривается как один из наиболее эффективных и доступных инструментов устойчивой городской мобильности. Его развитие способствует снижению транспортной нагрузки, сокращению выбросов CO_2, повышению

физической активности населения и улучшению качества городской среды [2], [6], [10], [14]. По данным Всемирной организации здравоохранения, регулярное использование активных видов передвижения, включая велосипед, оказывает положительное влияние на здоровье населения и снижает социально-экономические издержки, связанные с заболеваниями, обусловленными малоподвижным образом жизни [10], [14].

Несмотря на очевидные преимущества, развитие велосипедной инфраструктуры в развивающихся городах сталкивается с рядом системных ограничений. Во многих случаях велосипедные дорожки проектируются фрагментарно, без формирования связной и непрерывной сети, что существенно снижает их транспортную и функциональную эффективность [1], [5]. Отсутствие комплексного подхода к планированию приводит к низкому уровню использования существующей инфраструктуры и формированию негативного восприятия велосипеда как полноценного вида городского транспорта.

Анализ научных публикаций показывает, что значительная часть исследований в области планирования велосипедной инфраструктуры ориентирована на условия развитых стран, характеризующихся высоким уровнем институциональной зрелости, наличием детализированных транспортных данных и устойчивыми традициями немоторизованной мобильности [8], [24]. В то же время в развивающихся городах процесс внедрения велосипедных сетей осложняется дефицитом исходных данных, ограниченными финансовыми ресурсами, смешанным характером транспортных потоков и фрагментарной городской застройкой [9], [11], [18]. Это существенно ограничивает прямое применение существующих методологических подходов без учета локальной специфики.

В связи с изложенным особую актуальность приобретает систематизация и критический анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек с акцентом на условия развивающихся городов. Целью данной статьи является обобщение нормативно-планировочных, транспортно-моделирующих, пространственных (GIS-основанных), социальных, экологических и экономических методов формирования велосипедных сетей, а также оценка их применимости в условиях ограниченных ресурсов и высокой динамики городского развития.

Обзор научных подходов к планированию сети велосипедных дорожек

Научные исследования в области планирования велосипедной инфраструктуры формировались поэтапно и отражают эволюцию представлений о роли велосипеда в городской транспортной системе. Ранние работы были ориентированы преимущественно на нормативно-планировочные и геометрические аспекты проектирования велосипедных дорожек, включая требования к ширине проезжей части, радиусам поворотов, условиям видимости и элементам обеспечения безопасности [3], [4]. Данный подход позволял создавать минимально допустимые условия для движения велосипедистов, однако рассматривал велосипедную инфраструктуру как изолированный элемент улично-дорожной сети, без учета ее сетевой связности и реального транспортного спроса.

С развитием концепции устойчивой городской мобильности и переходом к интегрированному транспортному планированию научный фокус сместился в сторону формирования связных и непрерывных велосипедных сетей. В работах R. Pucher и J. Buehler показано, что высокий уровень использования велосипеда достигается не за счет отдельных велосипедных дорожек, а при наличии плотной, логически связанной и иерархически организованной сети маршрутов [8], [24]. Аналогичные выводы представлены в исследованиях L. Harms и M. Kansen, где подчеркивается значение сетевого эффекта и территориальной непрерывности велосипедной инфраструктуры [5].

Значительное развитие получили транспортно-моделирующие подходы, основанные на анализе матриц «происхождение–назначение», сценарном моделировании и оценке перераспределения поездок между видами транспорта [6], [15], [24]. Указанные методы позволяют количественно обосновывать приоритетность развития отдельных маршрутов и

оценивать социально-экономическую эффективность инвестиций в велосипедную инфраструктуру. Однако в условиях развивающихся городов их практическое применение часто ограничено дефицитом достоверных статистических данных и высокой долей неформальных передвижений [9], [11].

В этой связи широкое распространение получили пространственные и GIS-основанные подходы, ориентированные на анализ территориальной доступности, плотности застройки, распределения населения и объектов притяжения [8], [9], [18]. Использование геоинформационных систем позволяет выявлять разрывы в велосипедной сети, формировать иерархию маршрутов и разрабатывать поэтапные сценарии развития инфраструктуры. Ряд исследований указывает, что GIS-методы являются наиболее адаптируемыми для развивающихся городов, поскольку допускают использование агрегированных и альтернативных источников данных [11], [18].

Отдельное направление исследований связано с учетом факторов безопасности и комфорта движения велосипедистов. В работах R. Marqués и V. Hernández-Herrador доказано, что субъективное восприятие безопасности оказывает существенное влияние на выбор маршрута и интенсивность велосипедного движения, зачастую превосходя по значимости факторы расстояния и времени в пути [13]. Данные выводы имеют особую актуальность для развивающихся городов, характеризующихся высокой интенсивностью смешанного движения и ограниченным уличным пространством.

В последние годы наблюдается рост интереса к экологическим и социально-ориентированным подходам планирования велосипедной инфраструктуры. Исследования Всемирной организации здравоохранения и Европейского агентства по окружающей среде подтверждают, что интеграция велосипедных дорожек с элементами зеленой инфраструктуры способствует снижению загрязнения воздуха, смягчению эффекта городского теплового острова и улучшению психоэмоционального состояния населения [10], [12], [17], [22], [25]. Социально-ориентированные исследования акцентируют внимание на вопросах транспортной доступности и справедливости, особенно в районах с низким уровнем доходов [11], [18].

Обобщение научных публикаций показывает, что в современных исследованиях преобладают комбинированные подходы, сочетающие нормативно-планировочные, пространственные, транспортно-моделирующие и социально-экологические методы [8], [12], [24]. Их применение позволяет учитывать многофакторный характер формирования велосипедных сетей и адаптировать проектные решения к условиям развивающихся городов с ограниченными ресурсами. Распределение научных исследований по применяемым методам планирования сети велосипедных дорожек представлено на рисунке 1.

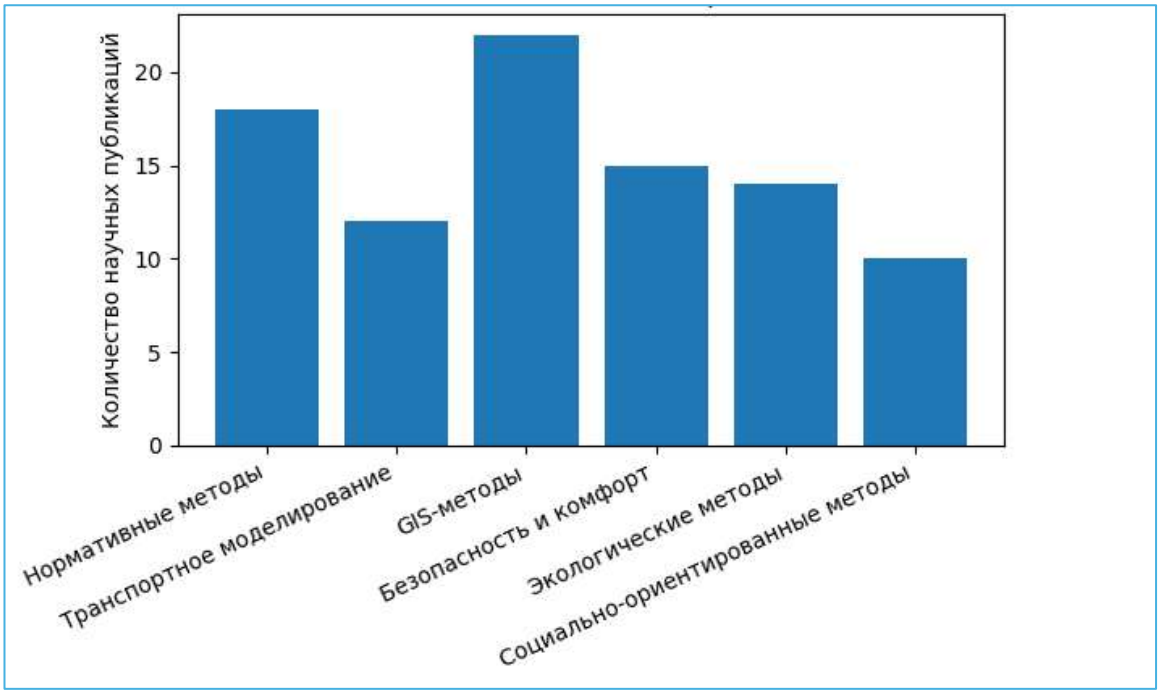


Рисунок 1 – Распределение научных исследований по методам планирования сети велосипедных дорожек

Методы планирования сети велосипедных дорожек

Современные методы планирования сети велосипедных дорожек представляют собой совокупность взаимодополняющих инструментов, направленных на обеспечение функциональной связности, безопасности и устойчивости велосипедной инфраструктуры. В научной литературе данные методы дифференцируются по уровню требуемых исходных данных, масштабу применения и степени адаптируемости к локальным условиям, что имеет принципиальное значение для развивающихся городов.

3.1. Нормативно-планировочные методы

Нормативно-планировочные методы основываются на применении национальных и международных стандартов проектирования велосипедной инфраструктуры, таких как рекомендации NACTO и Transport for London [3], [4]. Данные документы регламентируют геометрические параметры велосипедных дорожек, требования к разделению транспортных потоков, организации пересечений и элементам визуальной навигации. Их ключевым преимуществом является воспроизводимость проектных решений и обеспечение базового уровня безопасности движения.

В то же время исследования показывают, что нормативные методы в изолированном виде не обеспечивают формирование функционально связной велосипедной сети, поскольку не учитывают пространственное распределение транспортного спроса и социально-экономическую структуру города [11]. В условиях развивающихся городов применение нормативных требований без адаптации к локальному уличному профилю и режимам движения может приводить к конфликтам между участниками дорожного движения и снижению пропускной способности улиц.

3.2. Транспортно-моделирующие методы

Транспортно-моделирующие методы направлены на количественную оценку спроса на велосипедные поездки и анализ влияния развития велосипедной инфраструктуры на структуру городских передвижений. В научных работах широко используются матрицы «происхождение–назначение», сценарное моделирование и мультимодальные транспортные модели [6], [15], [24]. Преимуществом данных методов является возможность оценки долгосрочных эффектов и обоснования инвестиционных решений.

Однако для развивающихся городов характерны ограничения, связанные с недостатком надежных статистических данных, высокой долей неформальных поездок и быстрыми темпами изменения городской структуры [9], [11]. В результате транспортное моделирование в данных условиях чаще применяется на стратегическом уровне и требует интеграции с упрощенными пространственными и экспертными методами.

3.3. Пространственные и GIS-основанные методы

Пространственные методы, основанные на использовании геоинформационных систем, ориентированы на анализ территориальной доступности, плотности застройки, распределения населения и объектов притяжения [8], [9], [18]. Данные подходы позволяют выявлять пространственные разрывы в велосипедной сети, формировать иерархию маршрутов и оценивать потенциальный спрос на основе пространственных индикаторов.

С научной точки зрения GIS-основанные методы обладают высокой адаптивностью и допускают использование агрегированных и прокси-данных, что делает их особенно релевантными для условий развивающихся городов [11], [18]. Вместе с тем их ограничением является необходимость корректного выбора индикаторов и весовых коэффициентов, поскольку чрезмерная упрощенность пространственных моделей может искажать реальные поведенческие паттерны велосипедистов.

3.4. Методы, ориентированные на безопасность и комфорт

Методы, ориентированные на оценку безопасности и комфорта движения велосипедистов, основываются на анализе конфликтности транспортных потоков, уровня транспортного стресса и качества городской среды [10], [13]. Эмпирические исследования подтверждают, что субъективное восприятие безопасности оказывает значимое влияние на выбор маршрута и готовность населения использовать велосипед в повседневных поездках [13].

Для развивающихся городов данные методы имеют приоритетное значение в связи с высокой интенсивностью смешанного движения и ограниченными возможностями физического разделения потоков. Вместе с тем научная дискуссия указывает на сложность количественной оценки субъективных факторов, что требует комбинирования объективных показателей и социологических опросов [10], [11].

3.5. Экологические и социально-экономические методы

Экологически ориентированные методы планирования предполагают интеграцию велосипедной инфраструктуры с элементами зеленой городской среды, включая линейные зеленые коридоры и буферные зоны [1], [12], [22], [23]. Исследования показывают, что такие решения способствуют снижению концентрации загрязняющих веществ, смягчению эффекта городского теплового острова и повышению общего уровня комфорта городской среды [10], [17], [25].

Социально-экономические подходы направлены на оценку доступности велосипедной инфраструктуры для различных социальных групп и анализ экономической эффективности инвестиций [15], [16], [18]. В условиях развивающихся городов данные методы позволяют учитывать вопросы транспортной справедливости и оптимизировать распределение ограниченных ресурсов.

Обобщённая структура и взаимосвязь методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Концептуальная схема планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов

Промежуточный научный вывод

Анализ методов планирования сети велосипедных дорожек показывает, что ни один из рассмотренных подходов не является универсальным. Наибольшую научную и практическую ценность представляют комбинированные методологические схемы, адаптированные к уровню доступных данных, институциональным условиям и пространственной структуре развивающихся городов [8], [12], [24].

Сравнительный анализ научных исследований

Сравнительный анализ научных исследований в области планирования сети велосипедных дорожек позволяет выявить не только различия между применяемыми методами, но и их относительную эффективность в условиях развивающихся городов. В отличие от описательного обзора, сравнительный подход ориентирован на оценку применимости методов с учетом ресурсных, институциональных и пространственных ограничений, характерных для данных городов.

Анализ публикаций показывает, что в исследованиях, выполненных для развитых городов, преобладают комплексные методологические схемы, основанные на сочетании транспортного моделирования, пространственного анализа и социально-экономической оценки [8], [12], [24]. Данные подходы обеспечивают высокий уровень точности и прогностической надежности, однако требуют значительных объемов исходных данных и развитой системы транспортного мониторинга.

В то же время в развивающихся городах научные исследования чаще ориентированы на поэтапные и адаптивные методы планирования, позволяющие достигать максимального эффекта при ограниченных ресурсах [9], [11], [18]. В таких условиях приоритет отдается GIS-основанным методам, анализу доступности и оценке безопасности движения, которые допускают использование агрегированных данных и экспертных оценок без существенной потери аналитической ценности.

Особое внимание в научной литературе уделяется соотношению нормативно-планировочных и аналитических методов. Исследования показывают, что применение проектных стандартов без учета пространственного и социального контекста приводит к формированию формально корректной, но функционально неэффективной велосипедной инфраструктуры [3], [4], [11]. Напротив, интеграция нормативных требований с пространственным анализом и оценкой пользовательского восприятия позволяет существенно повысить уровень использования велосипедной сети [8], [13].

Сравнение транспортно-моделирующих и GIS-основанных подходов свидетельствует о том, что первые обладают более высоким прогностическим потенциалом, тогда как вторые отличаются большей гибкостью и адаптируемостью к условиям развивающихся городов [6], [9], [18]. На практике это обусловливает целесообразность их комбинированного применения, при котором GIS-анализ используется для первичного отбора приоритетных коридоров, а транспортное моделирование – для уточнения стратегических решений.

Результаты сравнительного анализа методов планирования сети велосипедных дорожек, обобщенные по ключевым критериям, представлены в таблице 1. Таблица демонстрирует, что наибольшей универсальностью и практической применимостью обладают комбинированные подходы, сочетающие пространственные, социально-экологические и экономические методы при умеренных требованиях к исходным данным.

Для наглядного сопоставления научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов в таблице 1 представлен сравнительный анализ.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов планирования сети велосипедных дорожек

№	Метод планирования	Основные инструменты	Преимущества	Ограничения	Применимость в развивающихся городах
1	Нормативно-планировочный	Проектные нормы, стандарты (NACTO, TfL)	Простота внедрения, базовая безопасность	Не обеспечивает связность сети	Высокая при адаптации к местным условиям [3], [4], [11]
2	Геометрический	Параметры улиц, поперечные профили	Быстрая реализация	Игнорирует спрос	Средняя
3	Транспортно-моделирующий	OD-матрицы (origin–destination), сценарное моделирование	Прогноз спроса, обоснование инвестиций	Требует данных и ресурсов	Ограниченная [6], [24]
4	GIS-основанный	Пространственный анализ, доступность	Высокая точность, визуализация	Требует цифровых данных	Высокая [8], [9], [18]
5	Безопасность и комфорт	Индексы стресса, конфликтность	Рост использования велосети	Сложность оценки	Очень высокая [10], [13]
6	Экологический	Озеленение, климатический анализ	Улучшение микроклимата	Доп. инвестиции	Высокая [1], [12], [22]
7	Социально-ориентированный	Доступность, equity-анализ	Транспортная справедливость	Сложность измерений	Очень высокая [11], [18]
8	Комбинированный	GIS + модели + соц-эко критерии	Максимальная эффективность	Сложность реализации	Наиболее перспективный [8], [12], [24]

Сравнительная оценка применимости различных методов планирования сети велосипедных дорожек в условиях развивающихся городов представлена на рисунке 3.

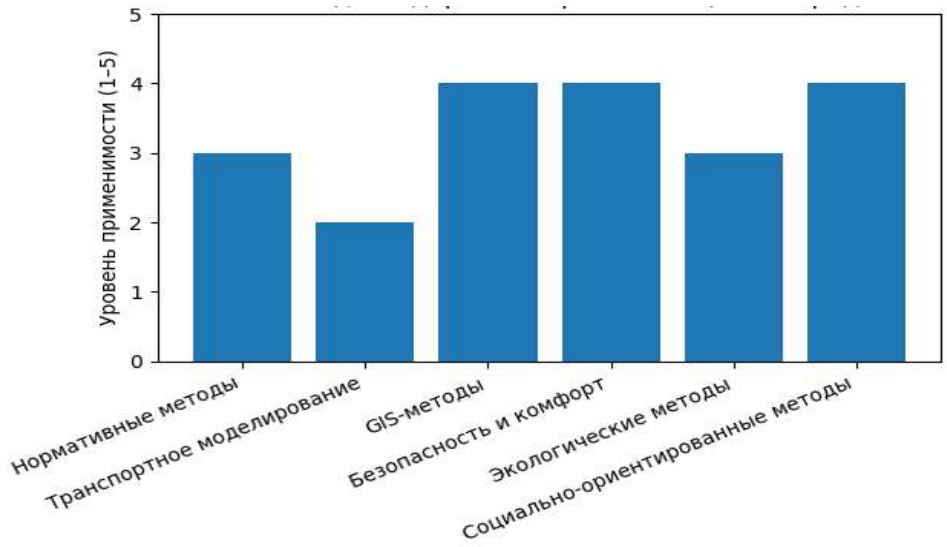


Рисунок 3 – Применимость методов планирования сети велосипедных дорожек в развивающихся городах

Выводы

Проведённый обзор и сравнительный анализ научных подходов и методов планирования сети велосипедных дорожек позволили выявить ключевые закономерности развития велосипедной инфраструктуры в условиях развивающихся городов. Результаты исследования подтверждают, что эффективность внедрения велосипедного транспорта определяется не отдельными проектными решениями, а системным и адаптивным характером планирования велосипедной сети.

Установлено, что нормативно-планировочные и геометрические методы обеспечивают базовый уровень безопасности и воспроизводимости проектных решений, однако в изолированном виде не позволяют сформировать функционально связную и востребованную велосипедную сеть. Их применение в развивающихся городах требует обязательной адаптации к локальным уличным профилям, режимам движения и пространственным ограничениям.

Анализ транспортно-моделирующих подходов показал их высокую прогностическую ценность при оценке долгосрочных эффектов развития велосипедной инфраструктуры. Вместе с тем в условиях дефицита достоверных данных и высокой доли неформальных передвижений данные методы обладают ограниченной применимостью и требуют интеграции с более гибкими пространственными и экспертными инструментами.

Пространственные и GIS-основанные методы продемонстрировали наибольшую адаптируемость к условиям развивающихся городов. Возможность использования агрегированных и альтернативных источников данных делает их эффективным инструментом выявления приоритетных велосипедных коридоров и пространственных разрывов в сети. Однако корректность результатов напрямую зависит от обоснованного выбора индикаторов и параметров пространственного анализа.

Методы, ориентированные на безопасность и комфорт движения, а также экологические и социально-экономические подходы, обладают высокой значимостью для развивающихся городов, характеризующихся смешанным движением, высокой плотностью застройки и социальной неоднородностью. Учет данных факторов позволяет не только повысить уровень использования велосипедной инфраструктуры, но и обеспечить более справедливое распределение транспортных преимуществ между различными социальными группами.

Ключевым выводом настоящего исследования является положение о том, что наибольшую эффективность демонстрируют комбинированные подходы к планированию сети велосипедных дорожек, основанные на интеграции нормативных требований, пространственного анализа, оценки безопасности и социально-экологических критериев. Именно такие методологические схемы позволяют учитывать ресурсные ограничения, институциональные особенности и динамичный характер развития развивающихся городов.

Полученные результаты могут быть использованы органами местного самоуправления, градостроителями и транспортными планировщиками при разработке стратегий развития велосипедной инфраструктуры, а также служить научной основой для дальнейших прикладных исследований, направленных на формирование устойчивых и инклюзивных городских транспортных систем.

Список литературы

1. Normukhammadov A. A. Greening the areas of urban bicycle lanes and its importance // Engineer. – 2025. – Vol. 3, No. 2. – P. 79–82. – DOI: 10.56143/engineer-tstu.v3i2.69.
2. Normuxammadov A. A., Ergashova M. Z. Bicycle transport in city transport systems // The Scientific Journal of Vehicles and Roads. – 2024. – No. 2. – P. 22–26.
3. National Association of City Transportation Officials (NACTO). Urban Bikeway Design Guide. – New York: NACTO, 2014.
4. Transport for London. London Cycling Design Standards. – London: TfL, 2016.
5. Harms L., Kansen M. Cycling Facts. – The Hague: Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM), 2018.
6. Götschi T., Garrard J., Giles-Corti B. Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives // Transport Reviews. – 2016. – Vol. 36, No. 1. – P. 45–71.
7. Litman V. Evaluating Active Transport Benefits and Costs. – Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2022.
8. Pucher R., Buehler J. Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany // Transport Reviews. – 2008. – Vol. 28, No. 4. – P. 495–528.
9. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). Cycling Cities: The Global State of Cycling. – New York: ITDP, 2022.
10. World Health Organization. Urban Green Spaces and Health. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.
11. UN-Habitat. Streets for Walking and Cycling: Design Guide. – Nairobi: UN-Habitat, 2020.
12. European Environment Agency. Green Infrastructure and Urban Planning. – Copenhagen: EEA, 2020.
13. Marqués R., Hernández-Herrador V. On the effect of networks of cycle-tracks on cycling // Accident Analysis & Prevention. – 2017. – Vol. 102. – P. 292–301.
14. Celis-Morales C. et al. Association between active commuting and mortality // BMJ. – 2017. – Vol. 357.
15. Copenhagen Municipality. The Economic Impact of Cycling in Copenhagen. – Copenhagen: City of Copenhagen, 2018.
16. Portland Bureau of Transportation. Neighborhood Greenways Evaluation Report. – Portland: PBOT, 2020.
17. Staats H., van den Berg A., Hartig M. Restorative effects of green space // Journal of Environmental Psychology. – 2010. – Vol. 30, No. 4. – P. 487–494.
18. Tiwari G., Jain D. Bicycle infrastructure and accessibility in urban India // Transportation Research Record. – 2012. – No. 2326. – P. 1–9.
19. Ministry of Urban Development (India). Design Manual for Bicycle Infrastructure. – New Delhi: Government of India, 2017.

20. Berlin Senate Department for the Environment. Urban Climate and Cycling Network Integration. – Berlin: Senate of Berlin, 2021.

Сведения об авторах:

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – Ташкентский государственный транспортный университет, ab.karabayev@gmail.com

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – Ташкентский государственный транспортный университет, normuxammadov_a@tstu.uz

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – Ташкент мемлекеттік көлік университеті, ab.karabayev@gmail.com

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – Ташкент мемлекеттік көлік университеті, normuxammadov_a@tstu.uz

Abdujabbor Meliyevich Karabayev – Tashkent State Transport University, ab.karabayev@gmail.com

Asilbek Alimardanovich Normukhammadov – Tashkent State Transport University, normuxammadov_a@tstu.uz

Вклад авторов:

Карабаев Абдужаббор Мелиевич – концепция исследования, методология, научное руководство, анализ результатов, редактирование рукописи.

Нормухаммадов Асилбек Алимарданович – сбор и обработка данных, проведение экспериментов, анализ результатов, подготовка текста статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при подготовке статьи ИИ не использовался.

ҒЫЛЫМИ ТӘСІЛДЕР МЕН ДАМУШЫ ҚАЛАЛАР ЖАҒДАЙЫНДА ВЕЛОЖОЛДАР ЖЕЛІСІН ЖОСПАРЛАУ ӘДІСТЕРІ

А. М. Қарабаев[1,*], А. А. Нормухаммадов[1]

[1]Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы
[*]Хат жауапты автор: ab.karabayev@gmail.com

Аңдатпа. Қарқынды урбандалу және дамушы қалалардағы автокөлік санының артуы жағдайында көлік кептелісі, экологиялық ахуалдың нашарлауы және қалалық ортаның сапасының төмендеуі сияқты мәселелер өзекті болуда. Осыған байланысты велосипед инфрақұрылымын дамыту тұрақты қалалық ұтқырлықтың басым бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Алайда велосипед көлігін тиімді енгізу көбіне велосипед жолдары желісін ғылыми негізде жоспарлауға байланысты.

Осы мақаланың мақсаты – дамушы қалалардың ерекшеліктерін ескере отырып, велосипед жолдары желісін жоспарлаудың ғылыми тәсілдері мен әдістерін жүйелеу және салыстырмалы талдау болып табылады. Жұмыста велосипед желілерін қалыптастырудың нормативтік-жоспарлау, көліктік модельдеу, кеңістіктік (GIS-негізіндегі), әлеуметтік, экологиялық және экономикалық әдістері қарастырылған. Шектеулі ресурстар, бастапқы деректердің жеткіліксіздігі және қалалық құрылыстың фрагменттік сипаты жағдайында аталған әдістерді қолдану мүмкіндіктеріне ерекше назар аударылған.

Зерттеу нәтижелері нормативтік талаптарды, кеңістіктік талдауды, қозғалыс қауіпсіздігін бағалауды және әлеуметтік-экологиялық өлшемдерді біріктіретін кешенді тәсілдердің ең жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті. Алынған қорытындылар велосипед инфрақұрылымын дамыту стратегияларын әзірлеуде және дамушы қалаларда тұрақты көлік жүйелерін қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: велосипед инфрақұрылымы, велосипед жолдары, көліктік жоспарлау, тұрақты даму, қалалық ұтқырлық, дамушы қалалар.

SCIENTIFIC APPROACHES AND METHODS FOR PLANNING BICYCLE PATH NETWORKS IN DEVELOPING CITIES

A. M. Karabayev[1,*], A. A. Normukhammadov[1]

[1]Tashkent State Transport University, Tashkent, Republic of Uzbekistan
[*]Corresponding author: ab.karabayev@gmail.com

Abstract. Rapid urbanization and increasing motorization in developing cities have led to growing challenges such as traffic congestion, environmental degradation, and declining urban living quality. In this context, the development of bicycle infrastructure is considered one of the key components of sustainable urban mobility. However, the successful implementation of cycling as a mode of transport largely depends on scientifically based planning of bicycle path networks.

The purpose of this paper is to systematize and comparatively analyze scientific approaches and methods for planning bicycle path networks while considering the specific characteristics of developing cities. The study examines regulatory and planning approaches, transport modeling methods, spatial (GIS-based) analysis, as well as social, environmental, and economic methods for designing bicycle networks. Particular attention is paid to evaluating their applicability under conditions of limited resources, insufficient baseline data, and fragmented urban development.

The results indicate that integrated approaches combining regulatory requirements, spatial analysis, traffic safety assessment, and socio-environmental criteria provide the highest effectiveness. The findings can be applied in developing strategies for bicycle infrastructure and creating sustainable urban transport systems in developing cities.

Keywords: bicycle infrastructure, bicycle paths, transport planning, sustainable development, urban mobility, developing cities.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН НА ОСНОВЕ АДАПТАЦИИ ОПЫТА КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Мухамбеткалиев К.К.[1], Сандыбай С.Д.[2,*], Ким А.И.[3], Агавов Т. Б.[4]

[1] Департамент развития науки, АО "КаздорНИИ", Астана, Республика Казахстан
[2] Факультет гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инженерных и цифровых наук, Назарбаев Университет, Астана, Республика Казахстан
[3] Управление мостовых и дорожных сооружений, АО «КаздорНИИ», Астана, Республика Казахстан
[4] Департамент нормативно-технического обеспечения, АО «КаздорНИИ», Астана, Республика Казахстан
*Корреспондент автор: saken.sandybay@alumni.nu.edu.kz

Аннотация. Рост транзитных грузопотоков по международным транспортным коридорам и старение парка искусственных сооружений актуализируют задачу модернизации системы диагностики мостов Республики Казахстан. Цель исследования – сравнительный анализ нормативно-технических и технологических подходов Китайской Народной Республики к обследованию и мониторингу автодорожных мостов и разработка предложений по их адаптации к климатическим и эксплуатационным условиям Казахстана. Методологическую основу составили натурные технические наблюдения мостовых сооружений агломерации дельты Жемчужной реки (г. Гуанчжоу, май 2026 г.) и сопоставительный анализ пяти китайских нормативно-технических документов, включая JTG/T 5214-2022 и GDJT 002-09-2025 [9] с действующей нормативной базой Республики Казахстан. Установлено, что ключевыми элементами китайской модели являются двухуровневое категорирование мостов, регламентированное применение беспилотных летательных аппаратов и концепция «облегченного» мониторинга типовых сооружений на основе пространственно-временных больших данных. Обоснована применимость указанных подходов при условии их адаптации к резко континентальному климату, паводковым и ледовым воздействиям и структуре транспортных нагрузок Казахстана. Практическая значимость состоит в сформированных предложениях для плана разработки нормативно-технических документов на 2027 год.

Ключевые слова: мостовые сооружения, обследование мостов, мониторинг технического состояния, беспилотные летательные аппараты, большие данные, нормативно-технические документы, резко континентальный климат.

Введение

Искусственные сооружения являются наиболее ответственными и капиталоемкими элементами автомобильных дорог: отказ моста, в отличие от локального разрушения дорожной одежды, приводит к длительному разрыву транспортной связи и создает непосредственную угрозу жизни участников движения. Для Республики Казахстан задача обеспечения надежности мостового парка приобретает особую остроту в силу совокупности факторов. Во-первых, значительная часть эксплуатируемых мостов построена в 1960–1980-е годы по нормам проектирования, не учитывавшим современные

осевые нагрузки и интенсивность движения. Во-вторых, развитие транзитного потенциала страны в рамках международного коридора «Западная Европа – Западный Китай» и сопряжения с инициативой «Один пояс – один путь» сопровождается устойчивым ростом доли тяжелого грузового транспорта. В-третьих, резко континентальный климат с годовой амплитудой температур, достигающей 80 °С и более, многократными циклами замораживания-оттаивания, морозным пучением грунтов, весенними паводками и ледоходом формирует комплекс воздействий, ускоряющих деградацию несущих конструкций, деформационных швов и опорных частей.

Традиционная практика визуальных обследований, выполняемых с периодичностью, установленной нормативными документами, не всегда обеспечивает своевременное выявление опасных процессов деградации, особенно на труднодоступных элементах – нижних поверхностях пролетных строений, ригелях опор, зонах сопряжения. Мировой опыт демонстрирует переход к инструментально-цифровой парадигме диагностики, ядром которой выступают беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с автоматизированным распознаванием дефектов и стационарные системы мониторинга технического состояния (Structural Health Monitoring, SHM) [1–4].

В научной литературе последних лет применение БПЛА для обследования мостов рассмотрено достаточно подробно: систематизированы технологии бесконтактной визуальной и инфракрасной съемки и требования к полетным параметрам [1], выполнено эталонное сопоставление эффективности БПЛА и традиционного осмотра при выявлении усталостных трещин стальных мостов [2], предложены подходы к автоматизации полного цикла «съемка – трехмерная реконструкция – распознавание дефектов – отчетность» [3]. В области стационарного мониторинга разработаны методические основы построения систем SHM [4, 5] и алгоритмы долгосрочной оценки состояния железобетонных мостов на основе нейросетевых моделей по данным многолетних наблюдений [6]. Признанным лидером практического внедрения этих технологий является Китайская Народная Республика, эксплуатирующая свыше 1,1 млн автодорожных мостов и сформировавшая централизованную систему контроля их безопасности [7]. Вместе с тем в отечественной литературе отсутствует системный анализ применимости китайской нормативно-технической модели диагностики мостов к условиям Казахстана; имеющиеся публикации рассматривают преимущественно отдельные технологии вне их нормативного и организационного контекста. Этим определяется научная новизна настоящей работы.

Цель исследования – на основе материалов технической миссии в КНР (20–26 мая 2026 г.) и анализа полученной китайской нормативной документации выявить организационные, технологические и нормативные решения в области обследования и мониторинга мостов, пригодные к адаптации в Республике Казахстан, и сформировать предложения для включения в план разработки нормативно-технических документов (НТД) на 2027 год. Особое внимание уделено учету специфических для Казахстана факторов: экстремальных температурных перепадов, паводковых и ледовых воздействий, морозного пучения грунтов и высокой доли сверхнормативных грузовых нагрузок.

Методология

Исследование выполнено в четыре этапа с использованием комплекса методов сравнительного нормативного анализа и натурного технического наблюдения.

На первом этапе в ходе технической миссии в г. Гуанчжоу (провинция Гуандун, КНР, 20–26 мая 2026 г.) по приглашению Central Fortune Creation Technology Group Co выполнены натурные наблюдения мостовых сооружений агломерации дельты Жемчужной реки, включая мосты Шуньдэ, Хайсинь, Лиде и Лоси, а также многоуровневую эстакадную сеть города. Фиксировались конструктивные решения деформационных швов, барьерных ограждений, шумозащитных экранов, организация движения и фактическое транспортно-эксплуатационное состояние сооружений. Наблюдения проводились в различное время суток, в том числе в часы пиковой нагрузки, что позволило оценить работу сооружений при

максимальной интенсивности движения (по оценкам, в пределах агломерации одновременно находится порядка 30–35 млн транспортных средств).



Рисунок 1 – Объекты натурных наблюдений: мосты Шуньдэ, Хайсинь и Лиде (г. Гуанчжоу, КНР, май 2026 г.)

На втором этапе выполнен анализ пяти нормативно-технических документов КНР, полученных по итогам миссии: технического регламента по натурным испытаниям и контролю эксплуатируемых автомобильных мостов JTG/T 5214-2022; технического руководства по применению маловысотных БПЛА для инспекции автомобильных мостов; руководства по применению пространственно-временных больших данных для мониторинга конструкций больших и протяженных автомобильных мостов; руководства по технологии мониторинга конструкций автомобильных мостов провинции Гуандун GDJT 002-09-2025; отчета об инспекции с использованием многофункциональной системы анализа дорог. Анализ выполнялся по единой схеме: область применения, объект нормирования, ключевые технические требования, степень автоматизации, организационная модель применения.

На третьем этапе проведен сопоставительный анализ китайской модели с действующей нормативной и организационной базой Республики Казахстан, включая Закон Республики Казахстан «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан» [8], строительные нормы и своды правил Республики Казахстан по проектированию и эксплуатации мостов и труб (СН РК/СП РК), государственные стандарты в области диагностики автомобильных дорог, а также действующий порядок паспортизации искусственных сооружений. Сопоставление выполнялось по критериям: организационная модель и категорирование объектов; периодичность и виды обследований; применяемый инструментарий; требования к квалификации исполнителей; форма представления результатов.

На четвертом этапе оценена применимость выявленных решений к условиям Казахстана по четырем группам факторов: климатические (расчетная минимальная температура до минус 40 °С и ниже, годовая амплитуда до 80–90 °С, циклы замораживания-оттаивания, гололедно-изморозевые явления, ветровые ограничения для полетов БПЛА);

гидрологические (весенние паводки, ледоход, подмыв опор); эксплуатационные (структура и интенсивность движения, сверхнормативные нагрузки в период массовых сельскохозяйственных перевозок); нормативно-правовые (совместимость с законодательством Республики Казахстан об использовании воздушного пространства и о разрешениях и уведомлениях). По результатам оценки сформированы предложения для плана разработки НТД на 2027 год.

Результаты и обсуждение

Масштаб и структура мостового парка КНР. Особенности китайской системы диагностики мостов невозможно рассматривать вне масштаба и архитектуры национальной транспортной сети. В соответствии с «Планом национальной комплексной трёхмерной транспортной сети» на период 2021–2035 гг. в КНР формируется опорный каркас из шести главных осей, семи коридоров и восьми проходов общей протяжённостью около 700 тыс. км, а ключевыми «полюсами» определены четыре агломерации, включая район «Большого залива» Гуандун – Сянган – Аомэнь, центром которого выступает г. Гуанчжоу – объект настоящей миссии [10]. Именно высокая интенсивность связей между этими полюсами и крайне разнообразный рельеф (реки, горы, ущелья) обусловили строительство 1,2–1,3 млн мостовых сооружений, из которых около 1,1 млн – автодорожные. Обобщённая схема транспортной сети КНР с выделением основных, вертикальных и горизонтальных коридоров и типов узлов приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема транспортной сети Китайской Народной Республики (основные, вертикальные и горизонтальные коридоры; основные, прибрежные и пограничные узлы)

Связь с транспортной системой Республики Казахстан. Принципиально важно, что западное крыло китайской сети выходит на пограничный узел Хоргос, через который проходит трансконтинентальный коридор «Западная Европа – Западный Китай». Общая протяжённость коридора составляет около 8 445 км, из них казахстанский участок – 2 787 км; пограничный переход Хоргос / «Нур жолы» в полном объёме введён в эксплуатацию в

2018 году, а сам маршрут связывает порт Ляньюньган на побережье Жёлтого моря с европейской частью континента, сокращая время доставки грузов в Европу с приблизительно 45 суток морским путём до порядка 11 суток [11]. Тем самым мостовой парк, эксплуатируемый на китайском участке коридора, и искусственные сооружения казахстанского участка фактически работают в единой транзитной системе и испытывают сопоставимые по природе (хотя и различные по климатическому контексту) грузовые нагрузки. Это дополнительно обосновывает целесообразность гармонизации подходов к диагностике и мониторингу мостов двух стран.

Организационная модель контроля безопасности мостов в КНР. Установлено, что в КНР, эксплуатирующей 1,2–1,3 млн мостовых сооружений (из них около 1,1 млн – автодорожные), действует жестко централизованная двухуровневая система контроля. Городские и региональные мосты обследуются экспертными организациями, сертифицированными Министерством транспорта КНР на право проведения планового, периодического и специального технического осмотра (Routine, Periodic and Special Inspections) в соответствии с национальными стандартами серии JTG (в частности, JTG H11 для автодорожных мостов). Обследование крупнейших и наиболее ответственных сооружений закреплено за специализированной государственной структурой – Мостовым бюро (China Railway Major Bridge Engineering Group, MBEC), располагающей собственными научно-исследовательскими институтами и испытательной базой. Такая модель обеспечивает выявление усталостных и деградационных процессов задолго до достижения ими критического уровня. Для Казахстана принципиально значимым является сам подход дифференциации: закрепление сложных и уникальных сооружений за специализированной научной организацией при допуске сертифицированных (лицензированных) организаций к массовым типовым объектам.



Рисунок 3 – Многоуровневая (3D) эстакадная сеть агломерации дельты Жемчужной реки

Конструктивно-технологические наблюдения. Натурные наблюдения выявили ряд решений, непосредственно влияющих на долговечность и транспортно-эксплуатационные показатели сооружений. Деформационные швы выполняются с применением качественных резиновых демпферов и фибробетона в зоне окаймления; выведение зоны стыка «в ноль» обеспечивается высокоточным нивелированием. В результате при проезде по швам отсутствуют ударные воздействия, не зафиксировано следов износа зоны окаймления; снижаются динамические нагрузки на пролетное строение, износ ходовой части транспортных средств и уровень акустического загрязнения прилегающей застройки. Барьерные ограждения преимущественно бетонные типа «Нью-Джерси»; на участках повышенного риска поверх бетонного блока устанавливается дополнительное металлическое ограждение, повышающее удерживающую способность при наезде тяжелых

грузовых автомобилей. Шумозащитные экраны монтируются непосредственно на бетонные ограждения; на отдельных сооружениях (мост Лоси) применены полностью закрытые экраны полукруглого сечения. Прямой перенос данных решений в Казахстан требует проверки материалов на морозостойкость (включая стойкость резиновых демпферов и фибробетона к многократным циклам замораживания-оттаивания и воздействию противогололедных материалов), что должно стать предметом отдельных лабораторных и опытно-полевых исследований.



Рисунок 4 – Барьерные ограждения типа «Нью-Джерси»: а) типовое; б) с дополнительным металлическим ограждением



Рисунок 5 – Деформационный шов открытого типа (г. Гуанчжоу)



Рисунок 6 – Шумозащитные экраны: а) экраны на барьерном ограждении; б) полностью закрытый экран моста Лоси

Анализ нормативно-технических документов КНР. Результаты структурированного анализа полученной нормативной документации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативно-технические документы КНР в области диагностики мостов и потенциал их адаптации в Республике Казахстан

Документ	Объект нормирования и ключевые положения	Потенциал адаптации в РК
JTG/T 5214-2022. Технический регламент по натурным испытаниям и контролю эксплуатируемых автомобильных мостов	Регламентирует случаи применения конкретных инструментальных методов, порядок их настройки и признаки опасных процессов деградации; фактически является практическим пособием по обследованию	Высокий. Гармонизация с действующим порядком обследований; основа регламента натурных (статических и динамических) испытаний мостов РК
Техническое руководство по применению	Переводит применение БПЛА из экспериментальной практики в	Высокий. Требуется увязка с законодательством РК об использовании воздушного

маловысотных БПЛА для инспекции автомобильных мостов	регламентированный автоматизированный технологический процесс с применением искусственного интеллекта; устанавливает требования к полетным заданиям, безопасности и обработке данных	пространства и ограничениями по ветровым и температурным условиям полетов
Руководство по применению пространственно-временных больших данных для мониторинга больших и протяженных мостов	Делит данные мониторинга на категории «причина» (нагрузки, среда) и «следствие» (отклик конструкции); алгоритмы машинного обучения сопоставляют их и при выходе отклика за норму автоматически формируют предписание на внеочередное обслуживание	Средний/высокий. Применим для внеклассных мостов РК; требует создания центра обработки данных и интеграции с базой паспортизации искусственных сооружений
GDJT 002-09-2025. Руководство по технологии мониторинга конструкций автомобильных мостов провинции Гуандун	Концепция «облегченного» (малозатратного) мониторинга типовых мостов: защита от наиболее частых причин обрушений – подмыва опор паводками, навала судов, проезда нелегальных сверхтяжелых транспортных средств	Высокий. Прямо отвечает рискам РК: весенние паводки, ледоход, сверхнормативные нагрузки; экономически реализуем для массового мостового парка
Отчет об инспекции с использованием многофункциональной системы анализа дорог	Исключение «человеческого фактора»: вместо визуальной оценки формируется цифровая карта, в которой ровность и колейность просчитаны лазерным сканированием с сантиметровым шагом	Средний. Сопрягается с действующей практикой диагностики дорог РК передвижными лабораториями; применим к покрытиям мостового полотна

Сопоставление с действующей практикой Республики Казахстан. Сравнительный анализ показал, что действующая в Казахстане система опирается преимущественно на периодические визуальные и инструментальные обследования с паспортизацией сооружений, тогда как стационарный мониторинг применяется в единичных случаях, а применение БПЛА не имеет специализированного нормативного регулирования в дорожной отрасли. Обобщенное сопоставление приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Сопоставление систем диагностики мостов КНР и Республики Казахстан

Признак	КНР	Республика Казахстан
Категорирование объектов	Двухуровневое: типовые мосты – сертифицированные организации; ответственные – специализированное государственное Мостовое бюро (МВЕС)	Единый порядок обследований; дифференциация по сложности сооружений нормативно не закреплена

Применение БПЛА	Регламентировано отдельным руководством; автоматизированный процесс с ИИ-распознаванием дефектов	Эпизодическое, в инициативном порядке; отраслевой регламент отсутствует
Стационарный мониторинг	Полномасштабный SHM для внеклассных мостов; «облегченный» мониторинг для массовых типовых сооружений	Единичные пилотные системы; концепция облегченного мониторинга не внедрена
Обработка данных	Пространственно-временные большие данные, модель «причина – следствие», автоматические предписания на обслуживание	Базы данных паспортизации; решения о ремонте принимаются по результатам периодических обследований
Натурные испытания	Единый технический регламент JTG/T 5214-2022 с привязкой инструментария к признакам деградации	Проводятся по отдельным программам; единый актуализированный регламент требует разработки

Адаптация к климатическим и эксплуатационным условиям Казахстана. Перенос китайских решений требует учета принципиальных различий условий эксплуатации. Провинция Гуандун характеризуется субтропическим климатом без устойчивых отрицательных температур, тогда как для большей части территории Казахстана расчетные минимальные температуры достигают минус 40 °С и ниже при годовой амплитуде до 80–90 °С. Это определяет следующие требования к адаптации: датчики и контроллеры систем мониторинга должны сохранять метрологические характеристики в расширенном температурном диапазоне, а алгоритмы интерпретации – отделять сезонные температурные деформации (раскрытие швов, перемещения опорных частей) от деградационных процессов; полетные регламенты БПЛА должны устанавливать ограничения по температуре, ветру и обледенению, характерным для степной зоны; материалы деформационных швов (резиновые демпферы, фибробетон окаймления) подлежат проверке на морозостойкость и стойкость к противогололедным реагентам. Одновременно концепция облегченного мониторинга GDJT 002-09-2025 ориентирована именно на те угрозы, которые статистически значимы для Казахстана: подмыв опор паводками (актуальность подтверждена масштабными паводками последних лет), ледовые воздействия и проезд сверхнормативных транспортных средств, что делает ее приоритетной для адаптации.

Предложения для плана разработки НТД на 2027 год. По результатам исследования сформированы следующие предложения: 1) разработка методических рекомендаций (рекомендаций по применению) по использованию БПЛА при обследовании мостовых сооружений, гармонизированных с китайским техническим руководством и законодательством Республики Казахстан об использовании воздушного пространства; 2) разработка руководящего документа по облегченному мониторингу типовых мостов с приоритетным контролем подмыва опор, ледовых воздействий и сверхнормативных нагрузок; 3) актуализация регламента натурных испытаний и инструментального контроля эксплуатируемых мостов с учетом структуры и положений JTG/T 5214-2022; 4) формирование технических требований к отраслевой платформе обработки данных мониторинга по модели «причина – следствие» с интеграцией в действующую систему паспортизации автомобильных дорог; 5) выполнение опытно-экспериментальных работ по оценке морозостойкости конструктивных решений деформационных швов, апробированных в КНР. Перечисленные документы целесообразно разрабатывать со ссылками на действующие СН РК/СП РК по мостам и трубам и межгосударственные

стандарты (ГОСТ) в области диагностики, с уточнением индексов по Единому государственному фонду нормативно-технических документов Республики Казахстан.

Полученные результаты согласуются с мировыми тенденциями автоматизации обследований [1–3] и развития систем мониторинга [4–6], однако, в отличие от большинства публикаций, рассматривающих технологии изолированно, в настоящей работе они проанализированы в единстве с нормативной и организационной моделью, что обеспечивает практическую реализуемость предложений. Ограничением исследования является качественный характер сопоставительного анализа: количественная оценка экономической эффективности облегченного мониторинга применительно к мостовому парку Казахстана требует отдельного технико-экономического исследования на пилотных объектах.

Заключение

1. Выявлены ключевые элементы китайской системы обеспечения безопасности мостового парка: двухуровневое категорирование объектов с закреплением ответственных сооружений за специализированной государственной научной структурой; нормативно регламентированное применение БПЛА с автоматизированным распознаванием дефектов; концепция облегченного мониторинга типовых мостов; обработка данных по модели «причина – следствие» с автоматическим формированием предписаний на обслуживание.

2. Установлено, что наибольшим потенциалом адаптации в Республике Казахстан обладают технический регламент натурных испытаний JTG/T 5214-2022, руководство по применению БПЛА и концепция облегченного мониторинга GDJT 002-09-2025, поскольку последняя ориентирована на угрозы, статистически значимые для Казахстана: подмыв опор паводками, ледовые воздействия и сверхнормативные нагрузки.

3. Обоснованы условия адаптации: расширение температурного диапазона работы измерительного оборудования, корректировка алгоритмов интерпретации данных с учетом сезонных температурных деформаций, установление климатических ограничений полетов БПЛА, проверка морозостойкости материалов деформационных швов.

4. Дорожным органам и научным организациям Республики Казахстан рекомендуется: включить в план разработки НТД на 2027 год пять предложенных документов; реализовать пилотный проект облегченного мониторинга на двух-трех типовых мостах в паводкоопасных районах; выполнить опытную апробацию БПЛА-обследования на внеклассном мосту с сопоставлением результатов с традиционным осмотром. Дальнейшие исследования целесообразно направить на количественную технико-экономическую оценку облегченного мониторинга и на разработку отечественных алгоритмов распознавания дефектов, обученных на дефектах, характерных для климата Казахстана.

Список литературы

1. Toriumi F.Y., Bittencourt T.N., Futai M.M. UAV-based inspection of bridge and tunnel structures: an application review // Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – e16103. https://doi.org/10.1590/S1983-41952023000100003

2. Dorafshan S., Campbell L.E., Maguire M., Connor R.J. Benchmarking Unmanned Aerial Systems-Assisted Inspection of Steel Bridges for Fatigue Cracks // Transportation Research Record. – 2021. – Vol. 2675, No. 9. – P. 154–166. https://doi.org/10.1177/03611981211001073

3. Lin J.J., Ibrahim A., Sarwade S., Golparvar-Fard M. Bridge inspection with aerial robots: Automating the entire pipeline of visual data capture, 3D mapping, defect detection, analysis, and reporting // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 35, No. 2. – 04020064. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000954

4. Petti L., Lupo C., De Gaetano C.M. A Methodological Framework for Bridge Surveillance // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 8. – 4975. https://doi.org/10.3390/app13084975

5. Ou J.P., Li H. Structural health monitoring in mainland China: Review and future trends // Structural Health Monitoring. – 2010. – Vol. 9, No. 3. – P. 219–231. https://doi.org/10.1177/1475921710365269

6. Li S., Wang W., Lu B., Du X., Dong M., Zhang T., Bai Z. Long-term structural health monitoring for bridge based on back propagation neural network and long and short-term memory // Structural Health Monitoring. – 2023. – Vol. 22, No. 4. https://doi.org/10.1177/14759217221122337

7. JTG/T 5214-2022. Технический регламент по натурным испытаниям и контролю эксплуатируемых автомобильных мостов. – Пекин: Министерство транспорта КНР, 2022.

JTG/T 5214-2022. Tekhnicheskiy reglament po naturnym ispytaniyam i kontrolyu ekspluatiruyemykh avtomobilnykh mostov [Technical Regulations for Field Testing and Inspection of In-Service Highway Bridges]. – Beijing: Ministry of Transport of the People's Republic of China, 2022.

8. Закон Республики Казахстан «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан» от 16 июля 2001 года № 242-II (с изменениями и дополнениями). – [Электронный ресурс] – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z010000242_

Zakon Respubliki Kazakhstan «Ob arkhitekturnoy, gradostroitelnoy i stroitelnoy deyatelnosti v Respublike Kazakhstan» ot 16 iyulya 2001 goda № 242-II (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Law of the Republic of Kazakhstan "On Architectural, Urban Planning and Construction Activities in the Republic of Kazakhstan" dated July 16, 2001, No. 242-II (as amended)]. – [Electronic resource]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z010000242_ .

9. GDJT 002-09-2025. Руководство по технологии мониторинга конструкций автомобильных мостов провинции Гуандун. – Гуанчжоу: Департамент транспорта провинции Гуандун, 2025.

GDJT 002-09-2025. Rukovodstvo po tekhnologii monitoringa konstruktsiy avtomobilnykh mostov provintsii Guandun [Guidelines for Monitoring Technologies for Highway Bridge Structures in Guangdong Province]. – Guangzhou: Department of Transport of Guangdong Province, 2025.

10. План национальной комплексной трёхмерной транспортной сети (2021–2035 гг.) [National Comprehensive Three-dimensional Transportation Network Planning Outline]. – Пекин: ЦК КПК, Государственный совет КНР, 2021. – [Электронный ресурс] – URL: https://changing-transport.org/publications/chinas-national-comprehensive-three-dimensional-transportation-network-planning-outline/).

11. Western Europe – Western China International Transit Corridor [Международный транзитный коридор «Западная Европа – Западный Китай»]. – [Электронный ресурс] – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Western_Europe-Western_China_Highway

Сведения об авторах:

Мухамбеткалиев К.К. – кандидат технических наук, Департамент развития науки, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Сандыбай С.Д. – доктор PhD, факультет гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инженерных и цифровых наук, Назарбаев Университет, Астана, Республика Казахстан, saken.sandybay@nu.edu.kz

Ким А.И. – главный специалист, Управление мостовых и дорожных сооружений, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, a.kim@qazjolgzi.kz

Агавов Т.Б. – главный специалист, Департамент нормативно-технического обеспечения, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, t.agavov@qazjolgzi.kz

Мұхамбетқалиев Қ.Қ. – техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Ғылымды дамыту департаменті, Астана, Қазақстан Республикасы, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Сандыбай С.Д. – PhD докторы, Назарбаев Университетінің Инженерия және цифрлық ғылымдар мектебінің Азаматтық құрылыс және қоршаған ортаны қорғау факультеті, Астана, Қазақстан Республикасы, saken.sandybay@nu.edu.kz

Ким А.И. – бас маман, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Көпір және жол құрылыстары басқармасы, Астана, Қазақстан Республикасы, a.kim@qazjolgzi.kz

Ағавов Т.Б. – бас маман, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Нормативтік-техникалық қамтамасыз ету департаменті, Астана, Қазақстан Республикасы, t.agavov@qazjolgzi.kz

Mukhambetkaliyev K.K. – Candidate of Technical Sciences, Department of Science Development, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Sandybay S.D. – PhD, Faculty of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan, saken.sandybay@nu.edu.kz

Kim A.I. – Chief Specialist, Department of Bridge and Road Structures, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, a.kim@qazjolgzi.kz

Agavov T.B. – Chief Specialist, Department of Regulatory and Technical Support, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, t.agavov@qazjolgzi.kz

Вклад авторов:

Мухамбеткалиев К.К. – методология, анализ нормативно-технической документации, редактирование текста.

Сандыбай С.Д. – концепция, методология, сбор и анализ данных, интерпретация результатов, написание и редактирование текста.

Ким А.И. – сбор данных, полевые исследования, анализ международного опыта, написание и редактирование текста.

Агавов Т.Б. – сбор и анализ нормативно-технической документации, сравнительный анализ стандартов, систематизация данных, редактирование текста.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Поездка осуществлена по приглашению Central Fortune Creation Technology Group Co; приглашающая сторона не участвовала в анализе данных, формулировании выводов и подготовке рукописи.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при подготовке статьи ИИ не использовался.

ҚЫТАЙ ХАЛЫҚ РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТӘЖІРИБЕСІН БЕЙІМДЕУ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ КӨПІР ҚҰРЫЛЫСТАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІН ЖЕТІЛДІРУ

Мұхамбетқалиев К. К.[1], Сандыбай С. Д.[2,*], Ким А. И. [3], Агавов Т. Б. [4]

[1]Ғылымды дамыту департаменті, "ҚазжолҒЗИ" АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы

[2]Азаматтық құрылыс және қоршаған ортаны қорғау факультеті, Инженерлік және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан Республикасы
[3] Көпір және жол құрылыстары басқармасы, "ҚазжолҒЗИ" АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы
[4] Нормативтік-техникалық қамтамасыз ету департаменті, "ҚазжолҒЗИ" АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы
*Корреспондент автор: saken.sandybay@nu.edu.kz

Аннотация. Халықаралық көлік дәліздері бойынша транзиттік жүк ағындарының өсуі және жасанды құрылыстар паркінің тозуы Қазақстан Республикасының көпірлерді диагностикалау жүйесін жаңғырту міндетін өзекті етеді. Зерттеудің мақсаты – Қытай Халық Республикасының автожол көпірлерін тексеру мен мониторингтеуге қатысты нормативтік-техникалық және технологиялық тәсілдерін салыстырмалы талдау және оларды Қазақстанның климаттық және пайдалану жағдайларына бейімдеу жөніндегі ұсыныстарды әзірлеу. Әдіснамалық негізді Гуанчжоу қаласындағы (2026 ж. мамыр) көпір құрылыстарын натуралық техникалық бақылау және JTG/T 5214-2022 пен GDJT 002-09-2025 қоса алғанда, бес қытайлық нормативтік-техникалық құжатты Қазақстан Республикасының қолданыстағы нормативтік базасымен салыстырмалы талдау құрады. Қытай моделінің негізгі элементтері: көпірлерді екі деңгейлі санаттау, ұшқышсыз ұшу аппараттарын регламенттелген қолдану және кеңістіктік-уақыттық үлкен деректер негізіндегі үлгілік құрылыстардың «жеңілдетілген» мониторингі тұжырымдамасы екені анықталды. Аталған тәсілдердің күрт континенттік климатқа, су тасқыны мен мұз жүрісі әсерлеріне және Қазақстанның көлік жүктемелерінің құрылымына бейімделген жағдайда қолданылуы негізделді. Практикалық маңыздылығы – 2027 жылға арналған нормативтік-техникалық құжаттарды әзірлеу жоспарына қалыптастырылған ұсыныстар.

Түйін сөздер: көпір құрылыстары, көпірлерді тексеру, техникалық жай-күй мониторингі, ұшқышсыз ұшу аппараттары, үлкен деректер, нормативтік-техникалық құжаттар, күрт континенттік климат.

IMPROVEMENT OF THE BRIDGE DIAGNOSTICS AND MONITORING SYSTEM OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN BASED ON THE ADAPTATION OF THE EXPERIENCE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Mukhambetkaliev K.K.[1], Sandybay S.D. [2,*], Kim A.I. [3], Agavov T. B. [4]

[1] Department of Science Development, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan
[2] Civil and Environmental Engineering Department, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan
[3] Management of Bridge and Road Structures, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan
[4] Department of Regulatory and Technical Support, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan
*Corresponding author: saken.sandybay@nu.edu.kz

Abstract. The growth of transit freight flows along international transport corridors and the ageing of the stock of engineering structures make the modernization of the bridge diagnostics system of the Republic of Kazakhstan an urgent task. The aim of this study is a comparative analysis of the regulatory, technical and technological approaches of the People's Republic of China to the inspection and monitoring of highway bridges, and the development of proposals for their adaptation to the climatic and operational conditions of Kazakhstan. The methodology combines field technical observations of bridge structures in the Pearl River Delta agglomeration (Guangzhou, May 2026) with a comparative analysis of five Chinese normative documents, including JTG/T 5214-2022 and GDJT 002-09-2025, against the current regulatory framework of

Kazakhstan. It was established that the key elements of the Chinese model are two-level bridge categorization, regulated application of unmanned aerial vehicles, and the concept of lightweight monitoring of typical structures based on spatio-temporal big data. The applicability of these approaches is substantiated subject to their adaptation to the sharply continental climate, flood and ice impacts, and the traffic load structure of Kazakhstan. The practical significance lies in the proposals formulated for the 2027 plan for the development of normative and technical documents.

Keywords: bridge structures, bridge inspection, structural health monitoring, unmanned aerial vehicles, big data, normative and technical documents, sharply continental climate.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index

ISSN
3008-1491

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF CERAMIC ROAD SURFACES BASED ON CLAY RAW MATERIALS

https://orcid.org/0000-0003-3198-2150 **Dosov Karzhaubai [1],**

https://orcid.org/0000-0002-3586-7128 **Idirisov Beksultan [2, *]**

[1] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan
[2] West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan
[*]Corresponding author: beksultan.idirisov@mail.ru

Abstract. The construction of ceramic road surfaces in residential complexes , private residential buildings and other socially significant facilities will lead to environmental and economic efficiency. For a comfortable life of residents, a special role is played by solving the problems of their improvement. In addition, one of the most important tasks is the improvement of sidewalks, courtyards and playgrounds, as well as the territories of squares, alleys and parks, which require a large amount of road-building materials. Currently, concrete pavers of various configurations and asphalt concrete are used to solve these problems. However, as practice shows, during the operation of these paths, their destruction is often observed.

An important technological stage in the production of ceramic materials is the preliminary preparation of raw materials, which requires significant energy and resources. As a result of research by scientists of modern technology for the production of ceramic tiles using the dry and wet method, it was found that in the process of preparing raw materials, a lot of energy and water is spent, and therefore is expensive both from an economic and environmental point of view. Scientists have proposed alternative methods for preparing raw materials, which significantly reduce energy and water.

Keywords: Clay, ceramic road surfaces, Shagan clay, physico-mechanical properties, local raw materials.

Introduction

The production of ceramic materials uses the highest accepted medium-melting clay , loam and yellowish soils [1,2], siltstones , algerites and fast-melting shales.

The use of these raw materials and products and the technology of their production allow us to create ceramic materials. Many effective ways to prepare products and mold them have been able to influence their properties.

These studies and experiments were made by mixing vogran slag as an auxiliary additive with clay in ceramic materials [3,4]. As a result of the study,the unsuitability in the production of products decreased by 50% in drying works, as a result of which it was possible to obtain products of the brand of ceramic bricks from 75 to 120 brands. And in the process of 10000c burning, Quartz in the heated body decreases and vollastonites increase.

The high heat retention and inability of clay to withstand shrinkage is very high compared to other ceramics, as silica or mullite compounds of minerals are found in it. But when using clay in the production of refractory ceramic bricks, it pursued the goal of reducing its high thermal conductivity [4].

Kazakhstan researcher-scientist Saibulatova S. zh. the author, referring to her research, noted that dynamic sedimentation consists of two periods: determining the smoking period and corresponding to the amount of water given in the composition, and simple periodic sedimentation, which depends on the release of water vapor in the gaseous state [5].

The research involved making ceramic bricks using three different soils. The main structure of the soil is composed (by 80% mass fraction) of mineral. Its mineralogical composition consists mainly of clay minerals, quartz and carbonates, as well as other very small minerals. In this project, raw materials were studied and collected as a basis, and then dried in a drying oven at 105\degc, and then, as usual, laboratory work began. The products are placed in a hermetically sealed container for 24 hours,protected from air flow, in a state of rest, hemogenization of moisture content of the product, that is, uniformity. After the product is crushed and shaped, continuous dewatering works are carried out and dried in a laboratory dryer oven at 105\degc, after drying in an electric oven with an average heating of 1.4 C/min to 610\degc, then continuous long-term annealing to the temperature of the last task by increasing 2.5\degc per minute to 900\degc, 950\degc and 1000\degc [6].

Ceramic products are the most durable, environmentally friendly materials that provide extended comfort, creating a climate of comfortable temperature and humidity for the environment. However, a serious problem in the production of these products is the use of low - grade raw materials with high sensitivity to drying by conducting research and experiments in production. In this regard, there is a need to develop multicomponent compositions and technologies for ceramic products using regional mineral raw materials and industrial waste.

For the production of construction ceramics, low-melting clays, loams and clays, clay, siltstones and low-melting shales are widely used.

The use of these types of raw materials in the production of Wall ceramics made it possible to create multicomponent compositions of ceramic masses, in particular, due to the introduction of additives regulating the properties of forming sands and the properties of the finished product, as well as a change in the technology of preparing raw materials [7,8,9].

It is important to note that in the process of overcoming barriers, it is influenced by many factors related to the cited research, which makes it extremely important for scientists to review the research data.

The practical and theoretical principles of creating the structure of construction ceramics at the stage of shaping, drying and firing are thoroughly studied and are based on the results of ceramic masses, the basis of which is clay raw materials. However, in the development of effective technologies for making ceramic products, non-traditional natural raw materials and, in addition, production waste with special properties are increasingly used [10]. Therefore, it is necessary to conduct additional research, taking into account the properties and specific features of the raw materials under consideration.

When creating resource-saving and energy-saving technologies of ceramic products, the use of multicomponent raw materials began to be paid more and more, which increased interest in terms of obtaining products with the necessary properties. However, for the selection of rational methods at the stage of preparation of raw materials used in the practical implementation of research results, an integrated scientific approach is required.

When choosing the method of forming ceramic masses for the production of ceramics in construction, the semi-dry pressing method has received its due recognition in recent years, which opens up wide opportunities for the use of non-plastic raw materials, including industrial waste , full automation of technological processes, integration of drying and firing processes, obtaining products with clear surfaces and accurate geometric dimensions.

Methodology

In some properties and granulometric composition, The Rock approaches closed loams. As a rule, the holes do not contain sand particles larger than 0.25 mm in size, however, this rock

contains most of the large dust (0.05-0.01 mm). Its content usually reaches 60-70%. The Rock is distinguished by weak layering, micro-aggregation, high water permeability. Loess-carbonate rocks. In dry areas, they can be salted and contain gypsum particles.

Ceramic materials used for production in the production of products must comply with the current regulatory and technical documents for the production of these materials, as well as technical documentation and obtain from the characteristics of the products being removed from this. My problem is to improve the properties of Chagan loam by adding additives to its properties. Therefore, the study of its basic mineral composition is an important case.

Raw materials containing the mineral Al_2O_3 belong to the acidic raw material type. And he, in turn, is considered to have a low firing temperature. And raw materials containing Fe_2O_3 are considered to be of high quality (Table 1).

Table 1 . Share of chemical minerals of Shagan loam of West Kazakhstan region

Raw material name	Oxygen contacts, drunk.%												
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	F	SO_3	CO_2	Na_2O	K_2O	п.п.п.
Shagan on clay	51,27	12,13	-	11,97	2,09	4,88	-	-	2,43	-	3,56	-	11,67

In the course of differential and thermal analysis, 120 °C loses its external water due to internal conditions. At 280°C, organic minerals burn out.

To create a ceramic composition for the system Loess –like loam-Chagan field in clay, bentonite clay was pre - dried at a temperature of 90-100 °C to a constant weight. The dried clay was ground to a certain surface area of 1000-1200 cm2 / G in a laboratory ball mill. Grinding was also carried out on glass powder.

The course of research was made by saturating clay - bentonite powder with water.

To create a ceramic composition for the system, use Loess-like loam and

made from bentonite powder clay and glass crusher. Clay and bentonite powders were then dried and crushed and prepared. We mix the dry mixture, that is, glass powder for loam and bentonite clay in a ratio of 80-85:5-10:5-10 in a ball mill and saturate the mixed mixture with water. The resulting ceramic mass is brought to a moisture content of 20-30%.

Cylinder samples (5x5x5 CM) were formed by semi-dry vibropressing from the studied mineral compositions of raw materials mixtures. Pressing pressure 10 MPA. After that, AZA-sensitive drying of the molded product was carried out, and annealing was carried out in furnaces with an exposure of 8-10 hours at the appropriate temperature. The temperature speed was carried out at a speed of 100 degrees per hour.

For the research work, the characteristics of the most important operational features of the emerging ceramics that occur during heat treatment were selected, such as fire shrinkage, general strength during compression and bending, general average density, material water absorption. Table 2 shows the physical and mechanical properties of heat-treated material or ceramic samples at different temperatures.

Table 2. Physical and mechanical properties of ceramic samples loam-bentonite-glass powder

Burn temperature, ^0C	Burner shrinkage, %	Average density, г/см^3	Strength, MPa		Water absorption, %
			to pressure	to bend	
900	0,05-0,01	1740	9,4-10,1	1,62-1,8	18,42

1000	0,10-0,12	1784	11,0-11,5	2,1-2,4	16,43
1100	0,13-0,16	1790	11,6-12,05	2,3-2,5	15,24

Thermal processing of samples was carried out according to the effective optimal composition of raw material compositions-85% bentonite clay, bentonite powder with an admixture of 10% bentonite and 5% glass powder were used.

The introduction of bentonite in powder form leads to the formation of stress in the process of drying raw materials due to the difference in water consumption and moisture supply, as well as the swelling of loam and bentonite. The difference in the linear dimensions of the samples is 35%.

The raw mixture is then molded by semi-dry vibropressing. The pressing pressure is 10-15 MPA. Due to the high sensitivity to drying, cast products were dried in conditions of complete drying, protected from gusts of air, wind. The dried product was fired in a muffle oven from 100 ° C to 1100 ° C. The rate of temperature rise is 1.5-2 ° C per minute.

Preparation of samples in the form of cubes with a wall size of 5x5x5 CM was carried out by pressing the mixture from raw materials. The moisture content of the mass was 20% of the mass of dry components, the pressure was 10 - 15 MPA.

The maximum firing temperature was up to 1000 degrees Celsius with a rise rate of 2.5 degrees per minute.

Testing work was carried out on 3 ceramic components of the cylinder-shaped product in question. The main requirement is to increase the binding capacity of Chagan loam, and to some extent to increase its physical and mechanical properties. In these samples, small explosions occurred, although the degrees of explosion were not clearly known in each mixture. In order to avoid these obstacles, I studied its differences during the main drying process.

The first thing I did was mold Shagan clay without additives (Figure 1). I compared the results obtained from it with products with added additives.



Figure 1 – Ceramic samples in drying condition

With regard to changes in the average density and water absorption in the systems under consideration, there is a decrease in water absorption and an increase in the average density in both ceramic compositions (Figure 2). However, in the clay-bentonite powder system, water absorption decreases from 21.7% to 19.6%. The loam system contains 15% to 20% bentonite and glass powder. In the clay-bentonite powder system, the average density increases from 1.65 to 1.83 g / cm3. When used in the form of glass powder from 1.75 to 1.9 g / cm3, it is administered in the form of glass powder. The data obtained clearly show that all the studied properties were significantly improved with the introduction of bentonite–glass in the form of water saturation.



Figure 2 – view of road surfaces that have undergone annealing

When applying ceramic compositions in the range of 900-1000°c, there is a significant increase in strength indicators, and the maximum strength in the specified temperature range was achieved by a ceramic composition with a suspension and is 9.4-12.5 MPA. This powder is 9% more than the composition with bentonite.

Results and Discussion

For the main production of ceramic products, the main sources of raw materials are required: clay, kaolin, loam, clay shale.

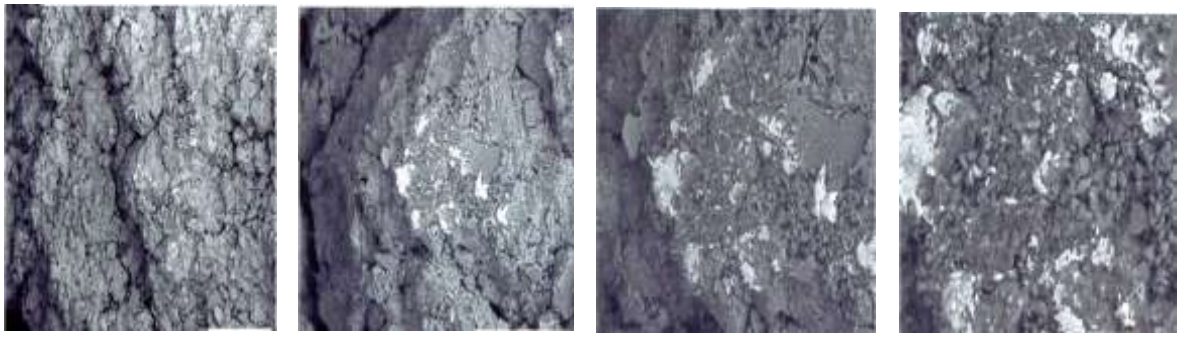
Loams are a mixture of large volumes of sand and mixed silt, as well as clay with the minerals calcium carbonate and water and bound iron oxide. The main main features of particles , i.e. minerals

by nature, loams from the level of > 0.015 mm are divided into thick and surface thin, and according to the significance of the production of clay particles, they are divided into heavy and light-weight loams. Loams are the predominant types of relative clay particles (up to 50% -33.3%), in which there is a lot of rock (Figure 3). This is the case when ceramic materials are of particular importance in determining the most important characteristics of materials for construction production water aluminosilicate is a complex compound. Their properties: bonding, ductility, calcined raw materials vary according to their mechanical strength.

Loams are characterized by minerals with very small particle sizes, no more than 18 micrometers, and have dimensions of more than 2 micrometers. The natural construction of the parts the mineral sum of the ceramic maker must be at least 1.5 microns and in the range from 10% to 40-55%.

The chemical composition of raw clay materials for the production of bricks and stones varies depending on the location, time of formation: Al2O3+TiO2 – 8-28%; CaO – 0.5-25%; SiO2 – 45-80%; Fe2O3 – 2-8%; MgO – 0-4%; R2O – 0.3 – 5%; the share of other minerals-3-6%.

Granule-shaped (granular) composition – an intermediate size ratio of particles of different sizes and fractions, expressed as a percentage by mass fraction. The granule-shaped composition is characterized by the size of loamy fractions (less than 0.004 mm), dusty particles (0.004-0.14 mm) and fine sand(0.14-5 mm). The ratio between these fractions uniquely determines such properties in materials as bonding shrinkage, ductility, and susceptibility to drying.

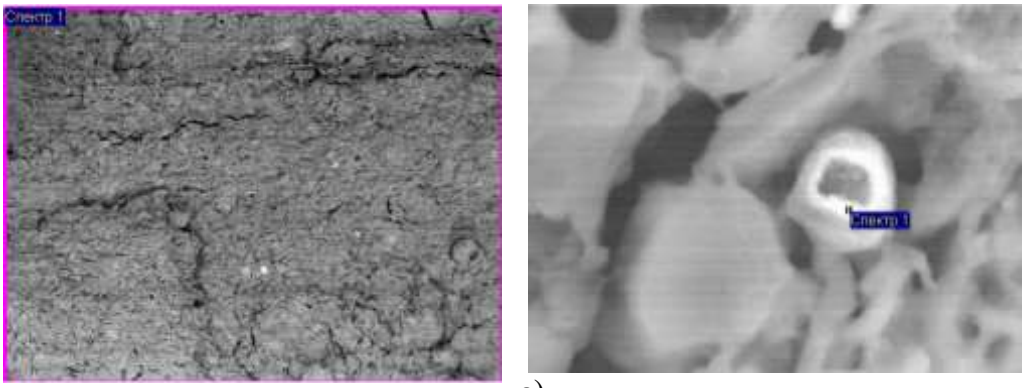


a) b) c) d)

Figure 3 – microstructure of the Shagan loam of the WKO, with different magnifications.
a-Magnification 100 times ; b-magnification 500 times;
c-magnification 1000 times; d-magnification 2000 times

An increase in the amount of clay substance gives the loam a significantly higher plasticity and resistance to rapid crushing in water, but, on the contrary, increases the overall and air shrinkage and increases the sensitivity to drying. Clay plasticity refers to the fact that clay materials, under the influence of a force acting from the outside, take on different shapes, without breaking its integrity, and do not return to their elastic place after this force is obtained. The deformation that occurs in this case is characterized by the breaking of bonds between some atoms and the formation of new ones.

A comprehensive and comparative analysis of microstructure, change and distribution, basic silicate-forming chemical elements in ceramic masses the introduction of bentonite powders with a high surface area (1200-1500 cm2/G) indicates a significant General change in the morphology of the microstructure of the ceramic composition of loams-bentonites. Confirmation of this is electronic images made at different magnifications of a ceramic composition of pure loam and modified bentonite clay (Figure 4).



a) b)

Figure 4 – microstructure of the composition of loam-bentonite-glass powder.
a) increased by 100 times; b) increased by 5000 times

Microscopic studies were carried out under the image electron microscope JSM-6490lv. INCA Energy 350 is equipped with an energy-saving micro-filter system and a device for studying the texture and micro-radiation of HKL Basic polycrystals and crystals.

Conclusion

Based on the results of the methods of studying physico-mechanical and chemical-mineralogical indicators and characteristics of the obtained raw materials, it was proposed to create an effective technology for obtaining high-quality ceramic road surfaces by semi-dry vibropression according to a number of research methods, thanks to the raw material composition, research and experiments made by adding additives of bentonite clay and glass powder to Chagan Loess loam.

It was proved that it is possible to increase the physical and mechanical properties of loess-like loams by adding additives to them by converting them.it was also proposed to mix them in powder form in a ball mill in 3 different ratios to choose a rational method of introducing the mixture into the composition of the ceramic mass.

It was found that a ceramic composition based on Loess-like loam helps to improve the formation properties due to the addition of bentonite clay as an additive. And the addition of glass to it allowed it to increase its individual physical properties.

A significant difference was found between the processes of forming the structure in comparison with pure loam and modified ceramic compositions. In the ceramic composition modified by bentonite clays, ceramic fragments of chemical elements such as Si, Al, Na, K increase due to the chemical composition of bentonite clay. This can be seen to have a positive effect on the overall stable formation of the crystalline phases of albite and anorthite as strengthening minerals in the ceramic fracture microstructure that determines the production of road surfaces. Loess-like indicates that Clay is enriched with chemical elements. The resulting ceramic product is distinguished by high strength, frost resistance and good water-absorbing properties.

The technology of roadbed ceramics based on bentonite clay and glass powder mixtures and modified Loess-like loams is developed, according to which it introduces dry-state mixing technology, which greatly simplifies the manufacturing process of high plastic ceramics and guarantees the improvement of high plasticity during molding , reducing the shrinkage indicator during drying and firing stage gives a significant relief to the production progress of the product.

List of references

1. Montaev S.A., Adilova N.B., Narikov K.A. Fiziko-mekhanicheskie svojstva keramicheskoj kompozicii v syr'evoj sisteme lessovidnyj suglinok-bentonit // VIIISatpaevskie chteniya: materialy Mezhdunar. nauchno-prakt. konf.-Pavlodar, 2008.-S.213-216.

2. Sulejmenov S.T., Sajbulatov S.ZH. Cennoe syr'e dlya obzhigovyh stenovyh materialov // Narodnoe hozyajstvo Kazahstana. -1979. -№7. -C.28

3. Maslennikova, G.N. Keramicheskie materialy / G.N. Maslennikova, R.A. Mamaladze, S. Midzuta, K. Koumoto. - Moskva: Strojizdat, 1991. - 320 s.

4. Montaev S.A., Pazylova S.B. Vliyanie temperatury obzhiga na izmenenie fiziko-mekhanicheskih svojstv keramicheskih mass v syr'evoj sisteme suglinok-tal'k // Nauka i obrazovanie - vedushchij faktor strategii “Kazahstan-2030”: materialy Mezhdunar. nauchn. konf.-Karaganda, 2001.- S. 45-48.

5. Sulejmenov S.T., Sajbulatov S.ZH. Cennoe syr'e dlya obzhigovyh stenovyh materialov // Narodnoe hozyajstvo Kazahstana. -1979. -№7. -C.28

6. Carter, C.B. Ceramic Materials: Science and Engineering / C.B. Carter, M.G. Norton. - Springer, 2007. - P. 4-7.

7. Ang, S.F. Sub-10-micrometer toughening and crack tip toughness of dental enamel / S.F. Ang, A. Schulz, R.P. Fernandes, G.A. Schneider // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. - 2011. - V. 4. - № 3. - P. 423-432.

8. Binner, J. Dense nanostructured zirconia by two stage conventional/hybrid microwave sintering / J. Binner, K. Annapoorani, A. Paul, I. Santacruz, B. Vaidhyanathan // Journal of the European Ceramic Society. - 2008. - № 28. - P. 973977.

9. Kelly, P.M. The martensitic transformation in ceramics – its role in transformation toughening / P.M. Kelly, L.R. Francis Rose // Progress in Materials Science. - 2002. - V. 47. - P. 462-557.

10. Abbas, H.A. Structural Properties of Zirconia Doped with Some Oxides / H.A. Abbas, F.F. Hamad, A.K. Mohamad, Z.M. Hanafi, M. Kilo // Diffusion Fundamentals. - 2008. - V. 8. - P. 7.1-7.8.

Information on the authors:

Dosov Karzhaubai Zhanabaevich - Master of Technical Sciences, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan. e-mail: cargau_68@mail.ru

Idirisov Beksultan Lepesuly Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan. e-mail: beksultan.idirisov@mail.ru

Досов Каржаубай Жанабаевич - техника ғылымдарының магистрі, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., Қазақстан. e-mail: cargau_68@mail.ru

Ідірісов Бексұлтан Лепесұлы– техника ғылымдарының магистрі, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан. e-mail: beksultan.idirisov@mail.ru

Досов Каржаубай Жанабаевич - магистр технических наук, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,г. Уральск, Казахстан. e-mail: cargau_68@mail.ru

Идирисов Бексултан Лепесович- магистр технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан. e-mail: beksultan.idirisov@mail.ru

Contribution of authors:

Dosov Karzhaubai Zhanabaevich – the research concept, methodology, and organization of experimental work.

Idirisov Beksultan Lepesuly – data analysis, conducting laboratory tests, text preparation, scientific editing, collecting data.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Use of artificial intelligence (AI): Artificial intelligence was used to check the grammar and spelling of the text of the article.

САЗДЫ ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ КЕРАМИКАЛЫҚ ЖОЛ ТӨСЕМДЕРІНІҢ ҚҰРАМЫН ЖӘНЕ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

https://orcid.org/0000-0003-3198-2150 **Досов Каржаубай [1],**

https://orcid.org/0000-0002-3586-7128 **Ідірісов Бексұлтан [2, *]**

[1]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал қ., Қазақстан

[2] Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан

[*]Корреспондент автор: beksultan.idirisov@mail.ru

Аңдатпа. Керамикалық жол төсемерін тұрғын үй кешендерінде , жеке тұрғын үйлерде және басқа да әлеуметтік маңызы бар нысандарды салу экологиялық және экономикалық жағынан да тиімділікке әкеледі. Тұрғындардың жайлы өмір сүруі үшін оларды жақсарту мәселелерін шешу ерекше рөл атқарады. Сонымен қатар, маңызды міндеттердің бірі тротуарларды, ішкі аулалар мен ойын алаңдарын, сондай-ақ көптеген жол-құрылыс материалдарының көп мөлшерін қажет ететін алаңдар, аллеялар мен саябақтар аумақтарын абаттандыру болып табылады. Қазіргі уақытта бұл проблемаларды шешу үшін әр түрлі конфигурациядағы және асфальт бетонды бетон төсемелер қолданылады. Алайда, тәжірибе көрсеткендей, осы жолдарды пайдалану кезінде олардың бұзылуы жиі байқалады.

Керамикалық материалдар өндірісінің маңызды технологиялық кезеңі шикізатты алдын-ала дайындау болып табылады, бұл айтарлықтай энергия мен ресурстарды талап етеді. Құрғақ және дымқыл әдісті қолдана отырып, керамикалық плиткаларды өндірудің заманауи технологиясын ғалымдардың зерттеулері нәтижесінде шикізатты дайындау барысында көп энергия мен су жұмсалатындығы, демек экономикалық және экологиялық тұрғыдан да қымбат екендігі анықталды. Ғалымдар шикізатты дайындаудың баламалы әдістерін ұсынды, бұл энергия мен суды айтарлықтай төмендетеді.

Түйін сөздер: Саз, керамикалық жол төсемдері, Шаған саздағы, физика-механикалық қасиет, жергілікті шикізат.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ

https://orcid.org/0000-0003-3198-2150 **Досов Каржаубай [1],**

https://orcid.org/0000-0002-3586-7128 **Идирисов Бексултан [2, *]**

[1]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана , г. Уральск, Казахстан

[2] Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан

[*]Корреспондент автор: beksultan.idirisov@mail.ru

Аннотация. Строительство керамического дорожного полотна в жилых комплексах, индивидуальных жилых домах и других социально значимых объектах приводит к повышению экологической и экономической эффективности. Особую роль для комфортного проживания жителей играет решение вопросов их улучшения. Кроме того, одной из важных задач является благоустройство тротуаров, внутренних дворов и детских площадок, а также территорий площадок, аллей и парков, требующих большого количества дорожно-строительных материалов. В настоящее время для решения этих проблем используются бетонные брусчатки различной конфигурации и асфальтобетонные

покрытия. Однако практика показывает, что при использовании этих путей часто наблюдается их нарушение.

Важным технологическим этапом производства керамических материалов является предварительная подготовка сырья, что требует значительных энергозатрат и ресурсов. В результате исследований ученых современной технологии производства керамической плитки с использованием сухого и влажного метода было установлено, что в процессе подготовки сырья расходуется много энергии и воды, а значит, и экономически и экологически дорого. Ученые предложили альтернативные методы подготовки сырья, что значительно снизило потребление энергии и воды.

Ключевые слова: Глина, керамическая брусчатка, Чаганская глина, физико-механические свойства, местное сырье.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ СУХОЙ ЗОЛЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Пиршаев Д.К. [1,*], Смагулова М.К.[1]

[1]АО "КаздорНИИ", Астана, Республика Казахстан
*Корреспондент автор: Tptk2025@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния активированной сухой золы, используемой в качестве частичной замены минерального порошка, на физико-механические свойства плотных асфальтобетонных смесей. Исследования проводились в соответствии с требованиями СТ РК 1225-2019 и СТ РК 1218. Были подобраны составы мелкозернистых асфальтобетонов типов А и Б, крупнозернистого асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона с применением активированной золы. Выполнена оценка прочностных характеристик, водостойкости, трещиностойкости, сдвигоустойчивости и устойчивости к колееобразованию. Полученные результаты показали, что применение активированной сухой золы позволяет обеспечить нормативные физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей и повысить их сопротивление воздействию высоких температур. Наиболее эффективным оказался состав с содержанием 60 % сухой золы от массы минерального порошка.

Ключевые слова: асфальтобетон, активированная зола, сухая зола, минеральный порошок, дорожное строительство, физико-механические свойства, дорожные покрытия, колееобразование, водостойкость.

Введение

Современное дорожное строительство ориентировано на повышение долговечности дорожных покрытий при одновременном снижении себестоимости производства асфальтобетонных смесей и расширении применения вторичных минеральных ресурсов [1]. Одним из перспективных направлений является использование золы-уноса тепловых электростанций после соответствующей активации в качестве минерального наполнителя [2].

Активированная сухая зола обладает развитой удельной поверхностью, высокой дисперсностью и способностью взаимодействовать с битумным вяжущим, что способствует улучшению структуры асфальтобетона. Кроме того, использование золы позволяет снизить объем промышленных отходов, направляемых в отвалы, и уменьшить экологическую нагрузку [3].

Целью настоящей работы является исследование влияния активированной сухой золы на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей различных типов и определение оптимального содержания золы в составе минерального порошка [4].

Методология

1.1 Методика проведения исследований

В ходе исследований планировалось решить следующие задачи:

- подобрать смеси, отвечающие требованиям СТ РК 1225 [5];

- определить физико- механические показатели мелкозернистых асфальтобетонов типов А и Б марки I;

- оценить влияние активированной золы в составе асфальтобетона.

Физико-механические характеристики асфальтобетона с использованием активированной золы определялись согласно СТ РК 1218 [6].

Для приготовления асфальтобетонных смесей приняты следующие исходные материалы:

- щебень из плотных горных пород фр. 10-20 и 5-10 мм, карьер «»;
- песок из отсевов дробления щебня фр. 0-5 мм карьера «Волгодоновка»;
- битум марки БНД 70/100, ТОО «СП«CaspiBitum»;
- адгезионная добавка «Амдор»;
- активированная зола.

Таблица 1 – Физико-механические свойства исходного битума марки БНД 70/100, ТОО «СП «Caspi Bitum»

Наименование показателей	НД на методы испытаний	Норма по НД	Фактические результаты
1	2	3	4
Глубина проникания иглы, мм при температуре 25 °С	СТ РК 1226	71-100	77,0
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	СТ РК 1227	не ниже 47	47,8
Растяжимость, при температуре 25 °С, см	СТ РК 1374	не менее 75	80
Температура хрупкости по Фраасу, °С	СТ РК 1229	не выше -20°С	-20

Таблица 2 – Физико-механические свойства каменных материалов

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты	
		фр. 10-20 мм	фр. 5-10 мм
Дробимость: - потеря массы, % - марка	Св. 10 до 12 включ. 1200	9,7 1200	10,2 1200
Истираемость: - потеря массы, % - марка	Св. 15 до 25 вкл. И2	18 И2	20 И2
Содержание игловидных и лещадных зерен, %	св.10 до 15 вкл. Л15	13,5 Л15	12,8 Л15

Таблица 3 – Характеристики песка из отсева дробления щебня

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Содержание зерен %, мельче, мм: - 5,0 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,071	не нормируется	 95,2 70,8 42,8 26,6 15,6 8,8 3,4

Содержание глинистых частиц, определяемое методом набухания, %	не более 0,5	0,44

Таблица 4 – Характеристики «Активированной золы»

№	Наименование показателей	Норма по НД (МП-3)	Фактические результаты
1.	Зерновой состав, % по массе, не менее мельче 1,25 мм 0,315 0,071	 95 80 60	 100 99,98 90,48
2.	Гидрофобность	Гидрофобный/ Не гидрофобный	Гидрофобный
3.	Пористость, %	38-45	39
4.	Влажность, % по массе, не более	2,5	0,7
5.	Показатель битумоемкости, г, не более, г.	80	75

Из анализа результатов следует, что исходные материалы соответствуют требованиям: щебень - СТ РК 1284, песок из отсева дробления щебня - ГОСТ 31424 [7], порошок минеральный активированный - СТ РК 1276 [8], битум БНД 70/100 - СТ РК 1373 [9].

Просеяны и проанализированы зерновые составы каменных материалов и построены графики кривых проходов для следующих асфальтобетонов:

1) Асфальтобетон мелкозернистый типа А, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 1);

2) Асфальтобетон мелкозернистый типа Б, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 2);

3) Асфальтобетон крупнозернистый, плотный, типа Б, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 3);

4) Щебеночно- мастичный асфальтобетон – 20, в соответствии с ГОСТ 31015, (рисунок 4).

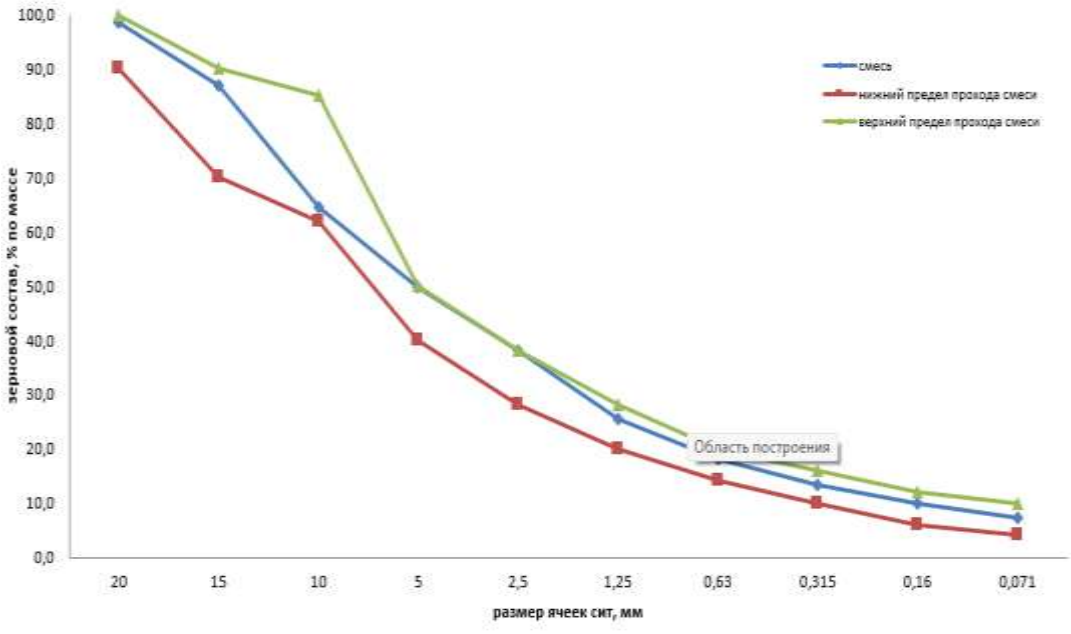


Рисунок 1 – График кривой гранулометрического состава подобранной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа А марки I

Для испытания **мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа А марки I**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 26%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 25%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 43%
– активированная зола – 6%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

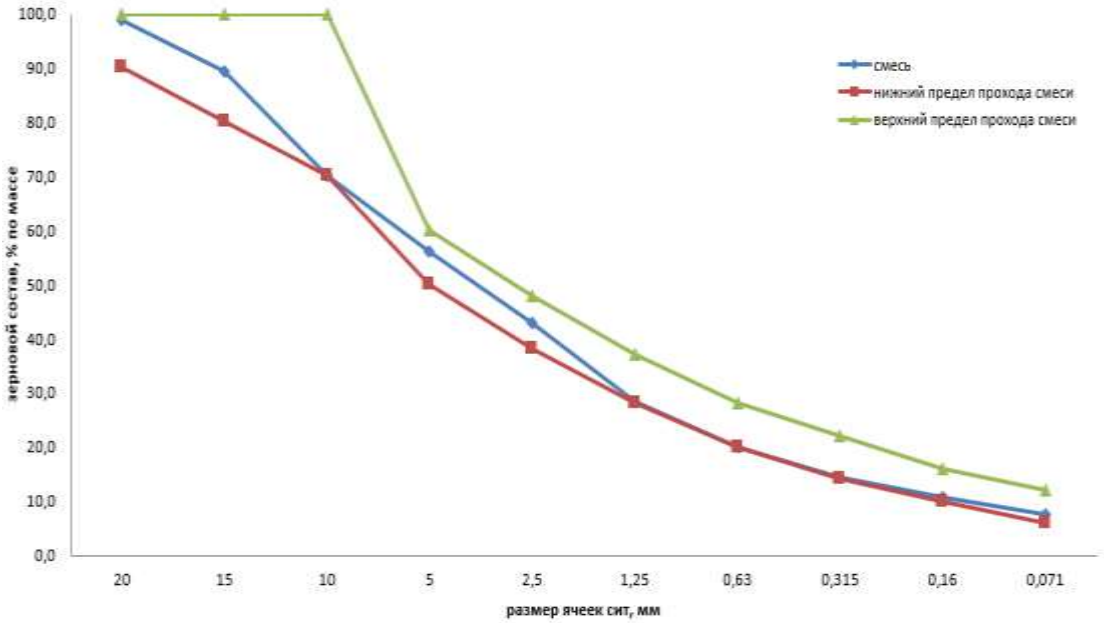


Рисунок 2 – График кривой гранулометрического состава подобранной **мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I**

В свою очередь для испытания мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I, приняли следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 20%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 30%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 45%
– активированная зола – 6%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

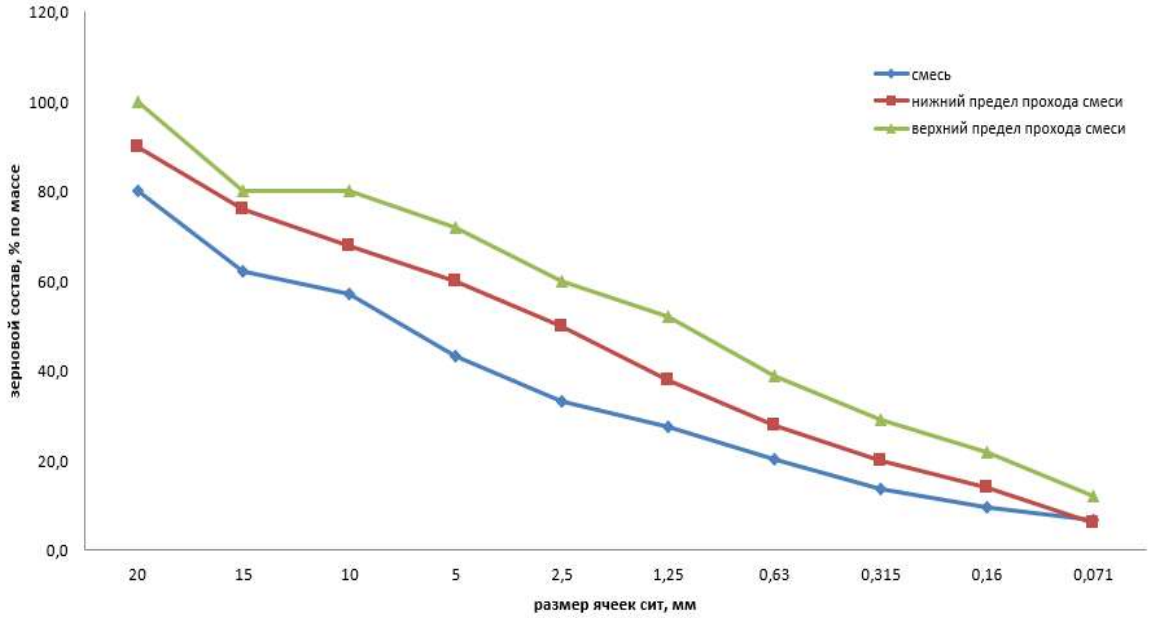


Рисунок 3 – График кривой гранулометрического состава подобранной крупнозернистой асфальтобетонной смеси типа Б

Для испытания **крупнозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 20-40 мм «Волгодоновка» – 33%
– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 10%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 15%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 37%
– активированная зола – 5%
– адгезионная добавка «А
мдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

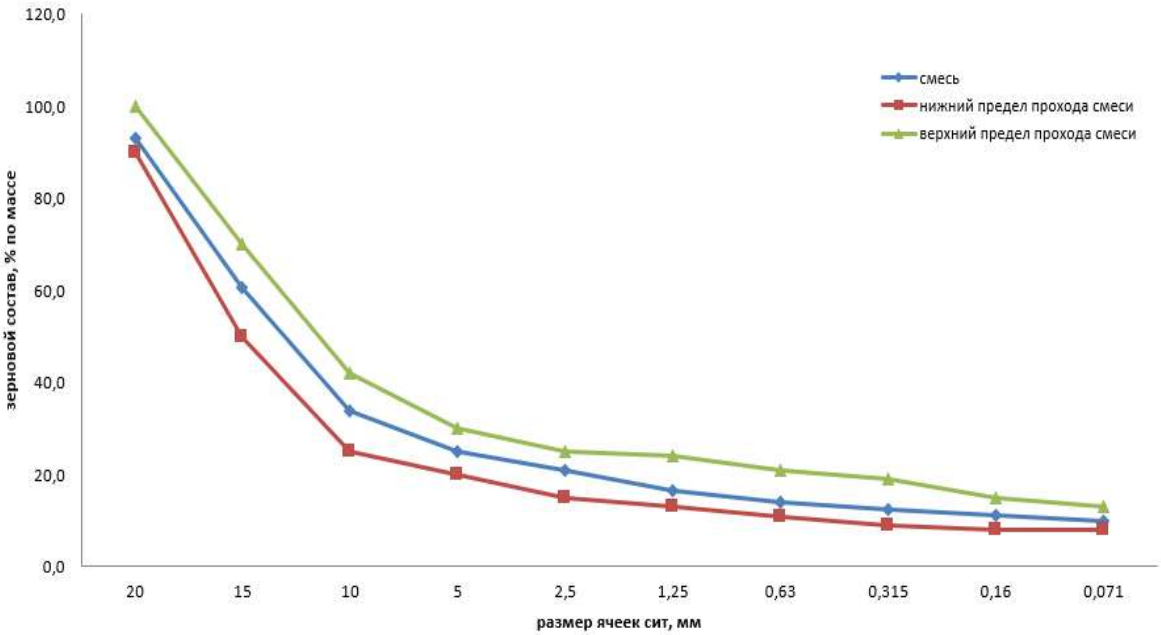


Рисунок 4 – График кривой гранулометрического состава, подобранной щебеночно мастичного асфальтобетона 20.

Для испытания **щебеночно- мастичного асфальтобетона – 20**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 62%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 13%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 14%
– активированная зола – 11%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– стабилизирующая добавка – 0,4%
– битум 70/100 – 5,0%.

2.2 Приготовление асфальтобетонных смесей.

Введение адгезионной добавки в битум производилось по следующей технологии: битум нагревали до 150 °С, затем вводили расчетное количество адгезионной добавки (0,3% от массы битума), перемешивали в течение 10-15 мин.

Приготовление асфальтобетонных смесей производилось путем взвешивания расчетного количества исходных материалов, нагрева каменных материалов в сушильном шкафу до требуемой температуры, перемешивания в лабораторной лопастной мешалке, введения минерального порошка и битума с адгезионной добавкой. Перемешивание осуществлялось до достижения визуальной однородности. Температура готовой асфальтобетонной смеси составляла 150-155°С.

Результаты и обсуждение

Показатели сопоставительных анализов физико-механических свойств асфальтобетонных смесей типа «Б» с применением «Сухой золы» и без нее приведены в таблице 1.

Наименование показателя	**Требования СТ РК 1225**	**Смесь №1**	**Смесь №2**	**Смесь №3**
Средняя плотность, г/см^3	Не норм.	2,44	2,41	2,40
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,5	1,7	1,9
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,83	0,95	0,95	0,97
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге, МПа, не менее	0,36	0,37	0,36	0,36
Предел прочности при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,2	1,55	1,65	2,01
Предел прочности при температуре 20 °С, МПа, не менее	2,2	3,9	3,5	5,15
Водостойкость, %, не менее	0,80	0,87	0,86	0,83
Предел прочности при температуре 0 °С, МПа, не более	13	7,78	8,58	9,2
Трещиностойкость по пределу прочности на				

растяжение при расколе, МПа Не менее Не более	3,5 7,0	4,23	5,03	5,0
Устойчивость к колееобразованию, мм, не более	6,0	5,7	6,0	6,0

На основании таблицы 6 можно сделать следующие выводы:

Средняя плотность: Плотность всех смесей находится в диапазоне 2,40–2,44 г/см^3.

Водонасыщение: Все смеси соответствуют требованиям стандарта (1,5–4,0%). Смесь №1 имеет минимальное водонасыщение (1,5%), что говорит о хорошей водостойкости, в то время как смеси №2 и №3 немного выше, но также находятся в допустимых пределах.

Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения: Все смеси превышают минимально допустимое значение 0,83. Смесь №3 имеет наивысший показатель (0,97), что означает лучшую устойчивость к сдвиговым деформациям.

Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге: Все смеси соответствуют минимальному требованию 0,36 МПа. Смесь №1 имеет показатель (0,37), что свидетельствует о лучшей сцепной способности.

Предел прочности при температуре 50 °С: Все смеси показывают высокие значения прочности при температуре 50 °С. Смесь №3 имеет наибольший предел прочности (2,01 МПа), что говорит о лучшей устойчивости к высоким температурам.

Предел прочности при температуре 20 °С: Значения значительно превышают требуемый минимум 2,2 МПа. Можно выделить смесь №3 (5,15 МПа), что свидетельствует о наилучшей прочности при этой температуре.

Водостойкость: Все смеси соответствуют требованиям (не менее 0,80). Смесь №1 имеет наивысший показатель (0,87), что указывает на лучшую водостойкость среди представленных образцов.

Предел прочности при температуре 0 °С: Все смеси имеют значительно меньшие значения, чем максимально допустимое значение (13 МПа). Это значит то, что смеси имеют хорошую устойчивость при низких температурах.

Трещиностойкость: Показатели трещиностойкости всех смесей находятся в допустимом диапазоне. Это говорит о лучшей стойкости к образованию трещин.

Средняя глубина колеи: Смеси №2 и №3 обладают меньшей устойчивостью к образованию колеи.

Физико-механические свойства мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II, в котором использовалось 40% минерального порошка и 60% «сухой золы» с содержанием битума 5,3%, по сравнению с использованием в качестве минерального заполнителя 50/50 минерального порошка и «сухой золы» соответственно, по показателям предела прочности при температуре 20 ℃ и 50 ℃ показали наиболее высокие результаты.

Выводы

Работа выполнена с целью подбора оптимального состава мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II, с применением «Сухой золы».

Асфальтобетон с «Сухой золой» имеет немного меньшую плотность по сравнению с контрольной смесью, так как «Сухая зола» имеет более низкую плотность по сравнению с минеральными наполнителями.

Смеси с «Сухой золой» показывают небольшое увеличение водонасыщения по сравнению с контрольной смесью. Это связано с тем, что зола может имеет пористую структуру и не является гидрофобной, в связи с этим смесь поглощает немного больше влаги.

Асфальтобетоны с содержанием сухой золы в количестве 40 и 60 % массы минерального порошка, по физико-механическим показателям соответствуют требованиям СТ РК 1225-2019 на марку II.

Рациональное содержание «Сухой золы» необходимо подбирать в зависимости от применяемого минерального материала и битума, а также характеристик конкретного вида асфальтобетона.

Список литературы

1. Mirković K., Tošić N., Mladenović G. Effect of different types of fly ash on properties of asphalt mixtures // Advances in Civil Engineering. – 2019. – Vol. 2019. – Article ID 8107264. – 11 p. – DOI: https://doi.org/10.1155/2019/8107264.

2. Choudhary J., Kumar B., Gupta A. Utilization of solid waste materials as alternative fillers in asphalt mixes: A review // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 234. – Article 117271. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117271.

3. Jwaida Z., Al Quraishy Q.A., Almuhanna R.R.A., Dulaimi A., Bernardo L.F.A., Andrade J.M.A. The use of waste fillers in asphalt mixtures: A comprehensive review // CivilEng. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 801–826. – DOI: https://doi.org/10.3390/civileng5040042.

4. Hui Y., Zhang R., Men G., Yuan H., Gu S., Ma L., Wang D. Fly ash for sustainable roads: A comprehensive review on mechanisms and performance optimization // Journal of Road Engineering. – 2025. – Vol. 5, No. 4. – P. 618–638. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jreng.2025.07.001.

5. СТ РК 1225–2019. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2019. / ST RK 1225–2019. Asphalt and airfield mixtures. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan, 2019.

6. СТ РК 1218–2003. Материалы дорожные. Методы испытаний асфальтобетона. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1218–2003. Road materials. Test methods for asphalt concrete. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

7. ГОСТ 31424–2010. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2011. / GOST 31424–2010. Non-metallic construction materials from crushed screenings of dense rocks. Technical specifications. – Moscow: Standartinform, 2011.

8. СТ РК 1276–2017. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1276–2017. Mineral powder for asphalt concrete mixtures. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

9. СТ РК 1373–2013. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1373–2013. Petroleum road viscous bitumen. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Пиршаев Д.К. – ведущий инженер испытательной лаборатории АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, Tptk2025@gmail.com

Смагулова М.К. – младший научный сотрудник Департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, mariya_98.kz@mail.ru

Пиршаев Д.К. – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ сынақ зертханасының жетекші инженері, Астана, Қазақстан Республикасы, Tptk2025@gmail.com

Смагулова М.К. – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің кіші ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан Республикасы, mariya_98.kz@mail.ru

Pirshaev D.K. – Lead Engineer, Testing Laboratory, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, Tptk2025@gmail.com

Smagulova M.K. – Junior Researcher, Department of Science Development, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, mariya_98.kz@mail.ru

Вклад авторов:

Пиршаев Д.К. – концепция исследования, методология, сбор данных (техническая миссия в КНР), анализ и интерпретация результатов, написание и редактирование текста.

Смагулова М.К. – сбор и анализ нормативно-технической документации, изучение международного опыта, сравнительный анализ стандартов, систематизация данных, участие в редактировании рукописи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): при подготовке статьи ИИ не использовался.

АКТИВТЕЛГЕН ҚҰРҒАҚ КҮЛДІҢ АСФАЛЬТОБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Пиршаев Д.К. [1,*], **Смағұлова М.К.** [1]

[1] «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы
*Корреспондент автор: Tptk2025@gmail.com

Аннотация. Мақалада минералды ұнтақтың ішінара алмастырғышы ретінде қолданылатын активтелген құрғақ күлдің тығыз асфальтобетон қоспаларының физика-механикалық қасиеттеріне әсерін бағалау бойынша эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеулер СТ РК 1225-2019 және СТ РК 1218 талаптарына сәйкес жүргізілді. Активтелген күлді қолдана отырып, А және Б типті ұсақ түйіршікті асфальтобетондар, ірі түйіршікті асфальтобетон және қиыршық-тасты мастикалық асфальтобетон құрамдары таңдалды. Беріктік сипаттамалары, суға төзімділік, жарықшаққа төзімділік, ығысуға төзімділік және ойық түзілуге қарсы тұрақтылық бағаланды. Алынған нәтижелер активтелген құрғақ күлді қолдану асфальтобетон қоспаларының нормативтік физика-механикалық көрсеткіштерін қамтамасыз етіп, жоғары температура әсеріне төзімділігін арттыратынын көрсетті. Ең тиімді құрам минералды ұнтақ массасының 60 % құрғақ күлден тұратын қоспа болып шықты.

Түйін сөздер: асфальтобетон, активтелген күл, құрғақ күл, минералды ұнтақ, жол құрылысы, физика-механикалық қасиеттер, жол жабындары, ойық түзілу, суға төзімділік.

INFLUENCE OF ACTIVATED DRY ASH ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Pyrshaev D.K. [1,*], **Smagulova M.K.** [1]

[1]JSC "KazdorNII", Astana, Republic of Kazakhstan
*Corresponding author: Tptk2025@gmail.com

Abstract. The article presents the results of experimental studies evaluating the influence of activated dry ash, used as a partial replacement of mineral filler, on the physical and mechanical properties of dense asphalt concrete mixtures. The research was conducted in accordance with the requirements of ST RK 1225-2019 and ST RK 1218. Mix designs of fine-grained asphalt concrete types A and B, coarse-grained asphalt concrete, and crushed stone mastic asphalt concrete incorporating activated ash were developed. Strength characteristics, water resistance, crack resistance, shear resistance, and rutting resistance were evaluated. The obtained results show that the use of activated dry ash ensures compliance with regulatory physical and mechanical requirements of asphalt concrete mixtures and improves their resistance to high-temperature effects. The most effective composition contained 60% dry ash of the total mineral filler content.

Keywords. asphalt concrete, activated ash, dry ash, mineral filler, road construction, physical and mechanical properties, pavement, rutting, water resistance.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).