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	–	–

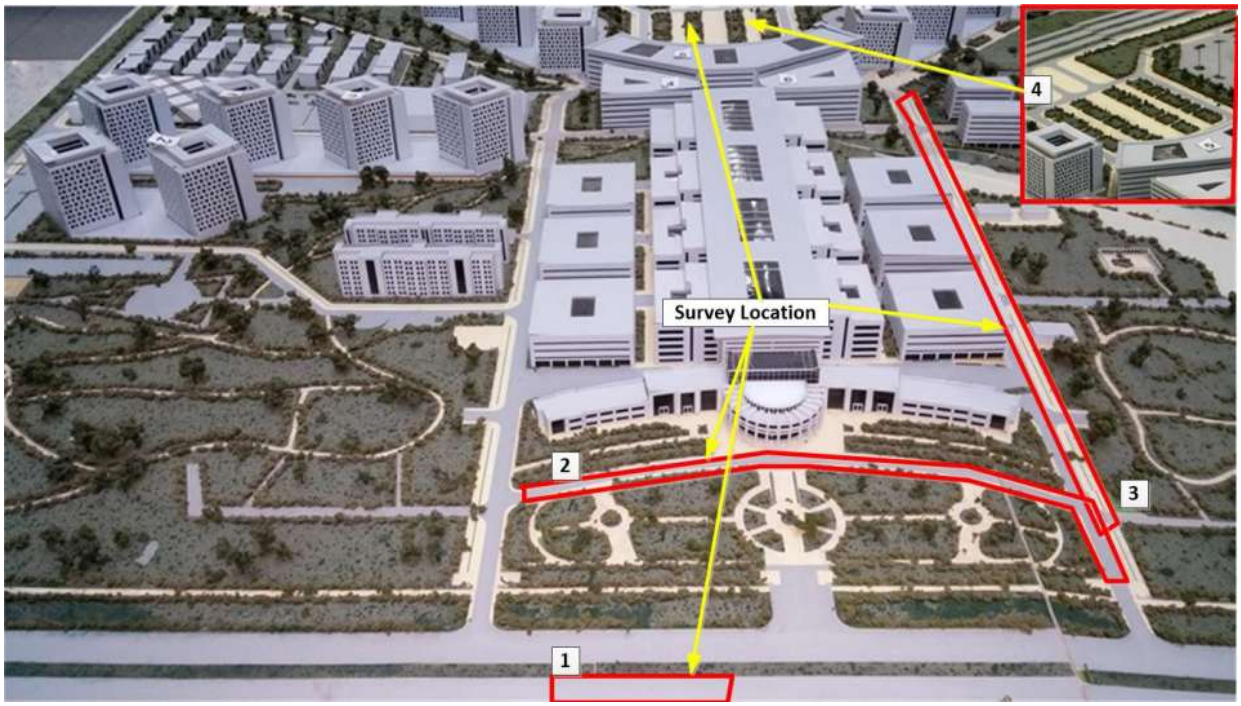
** AASHTO/LTPP жіктемесі бойынша жарық енінің орташа ауырлық шегі.*

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

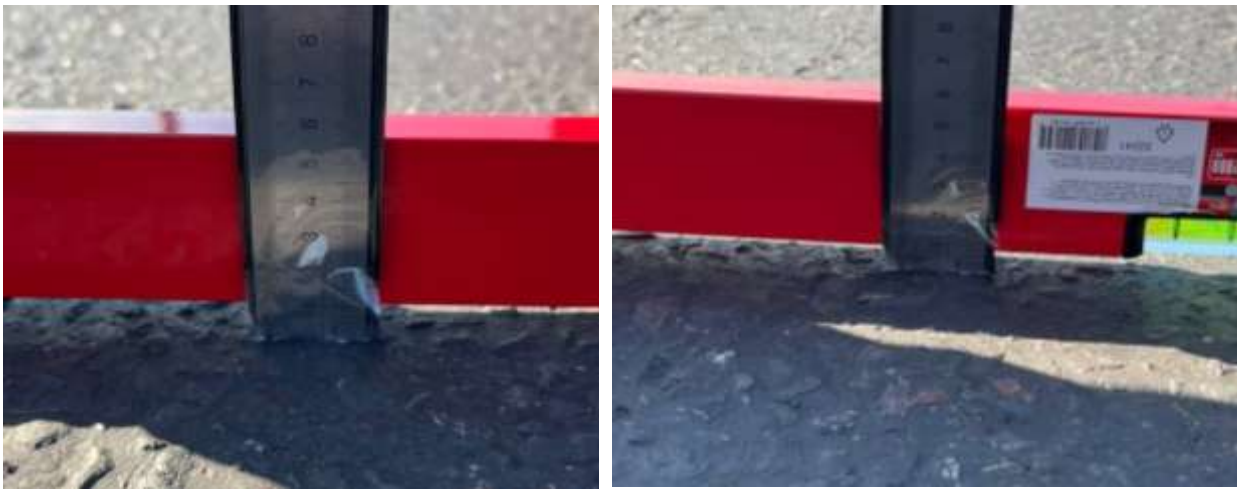
Кесте 2 – Автобус аялдамасындағы дөңгелек ойықтарының тереңдігі

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

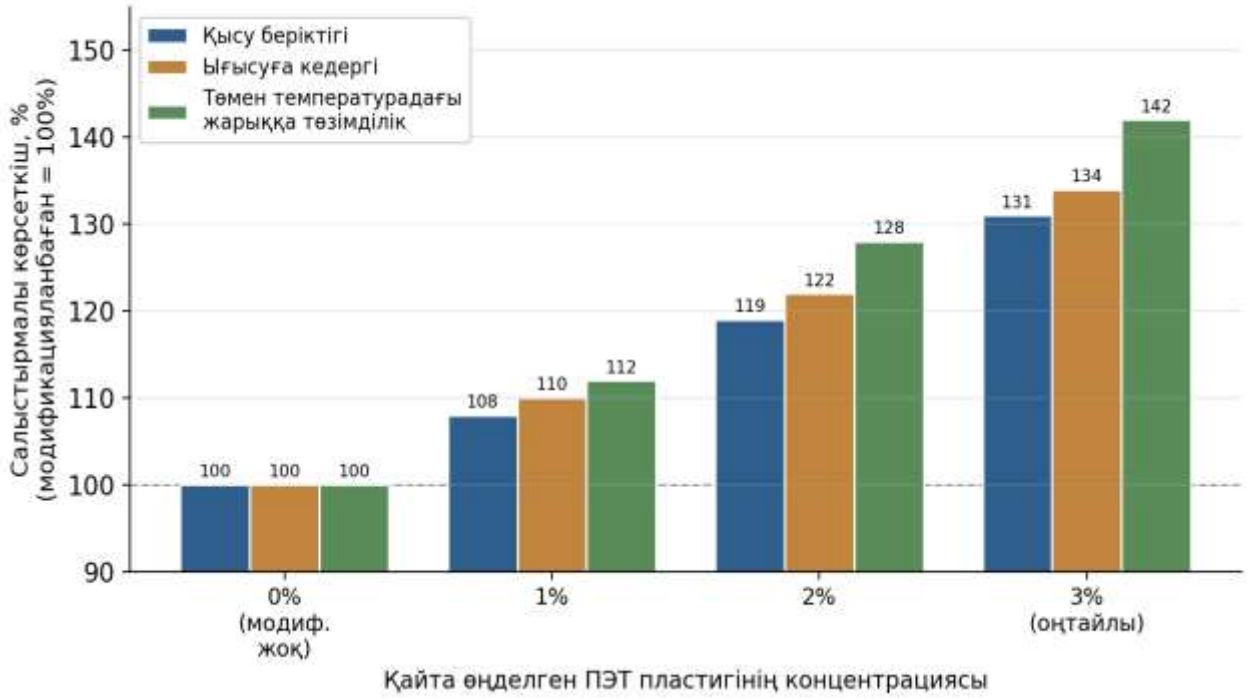


Сурет 8 – Бойлық пен көлденең жарықтар

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/).