



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӨПЕК МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

QAZAQ HIGHWAY

SCIENCE AND INNOVATION



QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ

«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, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амирбаев Ерик Дихамбаевич – Вице-президент АО «КаздорНИИ»

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

Ашимова Салтанат Жандарбековна – доктор PhD, руководитель отдела ДСМиНТ Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы

Тілеу Кұрманғазы 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 Бахтиярұлы – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Смагулова Мария Кусаиновна – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок 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>

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *А. Тулебекова, А.Жанкина, А.Илюбаева, А.Джумабаев*
ТОПЫРАҚТЫ НЫҒАЙТУ ҮШІН ГЕОСИНТЕТИКАЛЫҚ 4
МАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ
2. *Д. Е. Есентай, Г. К. Асанова*
ПОВЫШЕНИЕ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ НА 16
ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГ КАЗАХСТАНА
3. *D. Bazarbayev, A. Aikenova, M. Smagulova, A. Nigmatova*
DEVELOPMENT OF NOISE-INSULATING CONCRETE BASED 24
ON RECYCLED INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE
ACOUSTIC PROPERTIES OF BUILDING STRUCTURES
4. *И.С. Бондарь, П.Г. Хардилов, Е.Н. Ремизов*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО 32
ОБСЛЕДОВАНИЮ, ДИАГНОСТИКЕ И ОСМОТРАМ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ В США В ПЕРИОД С 1970-Х
ГОДОВ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ
5. *А. Алтынсары, А.А. Жумагулова, Б.Д. Чугулев, М.Н. Алданазаров*
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ БЕТОН ДЛЯ 43
ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН
6. *M. Zhumamuratov, D. Pirshayev, Z. Omirbekova*
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYMER 51
ADDITIVES ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES



ТОПЫРАҚТЫ НЫҒАЙТУ ҮШІН ГЕОСИНТЕТИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

<https://orcid.org/0000-0001-8553-3081> **А.Түлебекова^{1*}**, <https://orcid.org/0000-0003-0093-0008> **А.Жанкина¹**,
<https://orcid.org/0000-0009-1071-7156> **А.Илюбаева¹**, <https://orcid.org/0009-0007-2844-6361> **А.Джумабаев¹**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Сәулет-құрылыс факультеті,
Астана, Қазақстан Республикасы)

*Корреспондент автор: krasavka5@mail.ru

Аңдатпа. Шөгу топырақтың сыртқы жүктемелердің әсерінен көлемі мен пішінін өзгерту қабілетімен сипатталады, бұл оның бетінде орналасқан құрылымдардың деформациясына әкелуі мүмкін. Бұл құбылыс әсіресе ылғалдылық өзгерген кезде немесе жүктеме әсер еткеннен кейін айтарлықтай шөгуге бейім саз және Лай шөгінділері сияқты әлсіз және тұрақсыз топырақтарға қатысты. Мұндай топырақтарда автожолдар мен басқа да инфрақұрылымдық объектілерді салу кезінде жағымсыз салдардың алдын алу үшін нығайту және тұрақтандыру әдістерін, оның ішінде геосинтетикалық материалдарды қолдануды қолдану қажет. Бұл материалдар негіздің беріктік сипаттамаларын жақсартуға және деформация қаупін азайтуға көмектеседі. Жол жағалауы-бұл көлік құралдарынан жүктемелерді жолдың негізіне біркелкі бөлуге арналған инженерлік құрылым. Ол материалдардың бірнеше қабаттарынан тұрады, олардың әрқайсысы жол құрылымының беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етуде өз функцияларын орындайды. Маңызды аспект-үйінді жүктемелерді көлік қозғалысынан топырақтың терең тығыздалған және қатты қабаттарына тиімді беру үшін жобалануы керек. Мақалада шөгінді топырақты далалық сынау нәтижелері және соңғы элементтер әдісімен есептеу нәтижелері келтірілген. Сынақ әдістері мен шарттары, сондай-ақ жолдың құрылымдық-технологиялық шешімі сипатталған. Бұл әдістеменің тиімділігі оны әртүрлі инженерлік-геологиялық жағдайларда қолдану мүмкіндігіне байланысты. Сынақ нәтижелері топырақтың шөгуінің жүктемеге тәуелділігін көрсететін графиктер түрінде ұсынылған.

Түйінді сөздер: топырақтың шөгуі, статикалық жүктеме, тығыздалу, геосинтетикалық тор

Кіріспе

Автомобиль жолдары инфрақұрылымы басқа инфрақұрылымдық салалармен қатар экономикалық, сыртқы саяси, әлеуметтік және басқа да мақсаттарға қол жеткізудің, адамдардың өмір сүру сапасын арттыруды қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады. Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасындағы жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдарының ұзындығы 96 мың шақырымды құрайды. Осыған байланысты жобалау кезінде шөгу деформацияларының пайда болу мүмкіндігін ескеру қажет, бұл төтенше шаралар кешенін қабылдауды талап етеді [1]. Біріншіден, негіздің жеткіліксіз тығыздалуы салдарынан су құрылыстарының бастарының, жағалау тіректерінің, топырақ шөгінділерінің айтарлықтай деформациялары орын алатыны, соның салдарынан беткейлер бұзылып, жолдарда шұңқырлар пайда болатыны анықталды [2].

Жыл сайын шөгу топырақтарына жүздеген инженерлік құрылыстар салынады,

олардың қызмет ету мерзімі бірнеше есе қысқарады, жөндеу және қалпына келтіру шығындары бастапқы құнына жетеді [3]. Шөгінді топырақты нығайтудың және олардың кейінгі шөгуіне жол бермейтін бірнеше тиімді әдістер бар [4]:

– Құрылыс басталғанға дейін топырақ негіздерін тығыздау. Ол төсеу, дірілдеу, бұрмалауды қолдану арқылы жүзеге асырылады;

– Әлсіз топырақты тығызырақ (құм, қиыршық тас, қиыршық тас) топыраққа ішінара немесе толық ауыстыру;

– Жүктемені терең қабаттарға беретін топырақ қадаларының құрылғысы;

– Құмды және қиыршық тасты жастықтарды, дренаждарды, су өткізбейтін перделерді орнату;

– Цементтеу, силикаттандыру, шайырлау, топырақты саздау;

– Топырақты электр тогының энергиясымен, жылу агрегаттарымен термиялық бекіту [5];

– натрий карбоксиметилцеллюлозасын тұрақтандыру, шөгуді азайту, топырақтың беріктігі мен тұрақтылығын арттыру үшін пайдалану;

– топырақтың физикалық және механикалық қасиеттерін тиімді жақсартатын дәстүрлі емес тұрақтандырғыштарды, соның ішінде наноматериалдарды, қызыл балшықты, НЕС, гидрофобты тұрақтандырғышты, EN-1, SH [6].

Бұл технологияларды қолдану топырақтың қысылуы мен шөгуін айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Ең қолайлы әдіс топырақтың түріне, пайда болу тереңдігіне және құрылыс алаңының инженерлік-геологиялық жағдайына байланысты таңдалады.

Әдістеме

Зерттелетін нысан Алматы облысындағы Іле Алатауының етегінен солтүстікке қарай созылып жатқан тау етегіндегі еңісті жазықта орналасқан [7]. Геологиялық-литологиялық қиманы егжей-тегжейлі анықтау үшін трасса осі бойынша тереңдігі 6,0 м дейінгі 51 барлау ұңғымасы өтті, барлығы 199,0 м өтті. Ұңғымалардың абсолютті белгілері 631,59 – 680,70 м. Трасса учаскесі жер бетінен топырақ-өсімдік қабатымен ұсынылған, қуаты 0,2 м. Төменде қатты-сұйық консистенциядан ашылған қуаты 6,0 м-ге дейінгі саздақтар, сондай-ақ қуаты 1,5 м-ге дейінгі қатты құмды саздақтар жатыр. Төменде орташа ірі және ірі ашылған қуаты 0,6 м-ден құм қабаттары бар. Үйінді топырақ қиылысатын қолданыстағы автомобиль жолдарында кездеседі. Құрамында қиыршық тас пен қиыршық тас бар жартылай қатты саздақпен ұсынылған. Максималды ашылған қуаты 3,2 м. Зерттеу кезеңінде жер асты сулары тереңдікте 1,0 - 7,8 м ашылды. Топырақтың физика-механикалық қасиеттері 1 және 2 кестелерде келтірілген.

Кесте 1 – Топырақтың физика-механикалық қасиеттері

Параметр атауы	№						
	ИГЭ – 2а	ИГЭ – 2б	ИГЭ – 2в	ИГЭ – 2д	ИГЭ – 3а	ИГЭ – 4в	ИГЭ – 4г
1	2	3	4	5	6	7	8
Аққыштық шегі, %	26,9	26,3	27,1	27,3	20,7	-	-
Икемділік шегі, %	18,8	18,7	18,9	19,0	16,9	-	-
Икемділік индексі, %	8,1	7,6	8,2	8,3	3,8	-	-
Өтімділік индексі, %	<0	0,38	0,62	0,94	<0	-	-
Табиғи ылғалдылық, %	12,2	21,6	24,0	26,7	4,6	-	-
Топырақ бөлшектерінің тығыздығы, г/см ³	2,71	2,70	2,71	2,71	2,69	-	-

Кесте 1 жалғасы

Топырақ тығыздығы, г/см ³	1,61	1,91	1,94	1,84	1,61	1,62	1,88
Құрғақ топырақтың тығыздығы, г/см ³	1,45	1,57	1,57	1,45	1,54	-	-
Қуыс коэффициенті	0,86	0,72	0,73	0,87	0,74	-	-
Ылғалдылық дәрежесі	-	-	-	0,97	-	-	-
Өткізгіштік коэффициенті	-	-	-			7,4	-
Құрғақ күйдегі табиғи көлбеу бұрышы, град.	-	-	-			35	38
Топырақтың кедергісі, кПа	318,0	145	98	98	294	400	500

Кесте 2 – Топырақ сипаттамаларының нормативтік және есептік мәндері

№ ИГЭ	Топырақтың меншікті салмағы, кН/м ³			Ілінісу, кПа			Ішкі үйкеліс бұрышы, град.			Деформация модулі, МПа
	norm	РП	PI	norm	СП	CI	norm	γП	γI	
2a	1,61	1,61	1,58	<u>22,0</u> 16,0*	<u>22,0</u> 16,0*	<u>15,0</u> 11,0*	<u>22,0</u> 16,0*	<u>22,0</u> 16,0*	<u>19,0</u> 14,0*	<u>13,7</u> 7,8*
2b	1,91	1,91	1,87	25,0	25,0	17,0	21,0	21,0	18,0	<u>15,5*</u> 13,5*
2v	1,94	1,94	1,90	21,0	21,0	14,0	18,0	18,0	16,0	<u>13,0*</u> 12,2*
2d	20,3	20,3	20,1	13,0	13,0	8,7	5,0	5,0	4,3	7,7
3a	1,61	1,61	1,58	<u>13,0</u> 11,0*	<u>13,0</u> 11,0*	<u>9,0</u> 7,0*	<u>24,0</u> 21,0*	<u>24,0</u> 21,0*	<u>21,0</u> 18,0*	<u>10,6</u> 7,0*
4v	1,62	1,62	1,59	1,0	1,0	0,7	35,0	35,0	32,0	30,0
4g	1,88	1,88	1,84	1,0	1,0	0,7	38,0	38,0	34,0	30,0

*- белгіште судың қаныққан күйіндегі топырақтың сипаттамалары көрсетілген

Еге-2a (қатты және жартылай қатты саздақ) және 3a (қатты құмды саздақ) топырақтары шөгу қасиеттеріне ие. Бастапқы шөгу қысымы 0,125 - >3,0 кг / см² құрайды. Өз салмағынан түсу 5 см-ден аспайды. шөгу бойынша топырақ жағдайының түрі-I (бірінші). Зерттеудің блок-схемасы 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Зерттеу жұмысының схемасы

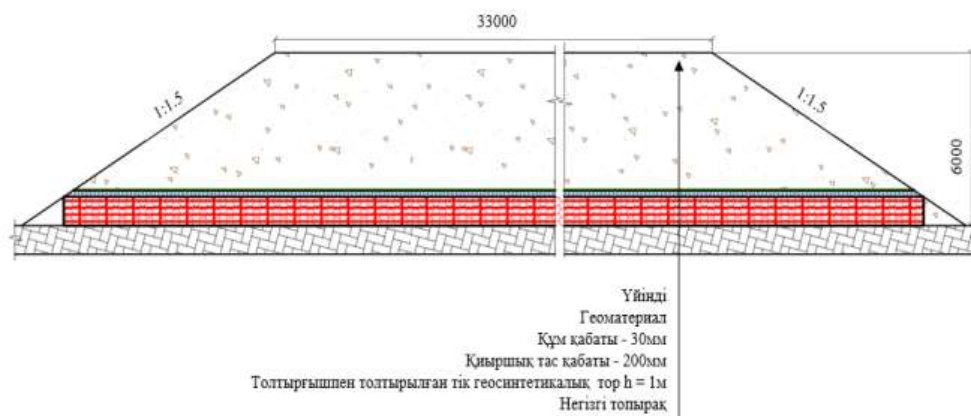
Қарғалы өзені арқылы өтетін көпір өткелі объектісіне қадаларды сынау акустикалық дефектоскопияның бұзбайтын әдісімен темірбетонды бұрғылау қадаларының тұтастығын (үзілмейтіндігін) заттай экспресс бақылау жүргізу жолымен қадалардың ұзындығы мен тұтастығын зерттеу мақсатында жүргізілді.

Қаданың жердегі жүктегі қозғалысы тәуелділігін белгілей отырып, жердегі қадалардың көтергіштігі мен деформациялану қабілетін анықтау мақсатында ПК 244+77 жол көпірінің № 3 тіреуінің № 3 бұрғылау қадасының шегініс жүктемесі бар статикалық сынақтар жүргізілді.

Қаданы жүктеудің әрбір сатысында барлық аспаптар бойынша есептеулер (сынақ апараты) алынды, бірінші сағат 15 мин аралықпен, одан әрі қаданың орнын ауыстыру (шөгу) әлсірегенге дейін 30 мин аралықпен, оны шартты тұрақтандыру деп атады.

Қадалар жобасына сәйкес қадаларды шартты тұрақтандыру үшін оның топырақта қозғалу жылдамдығы (шөгу) қабылданды, МЕМСТ 5686-2012 сәйкес, жүктеменің осы сатысында соңғы 60 минуттық бақылаулар үшін 0,1 мм-ден аспайды. Қаданы жүктемес бұрын аспаптардан нөлдік санақ алынды. Бірінші санақ жүктемені қолданғаннан кейін бірден алынып тасталды. Әр кезеңнің экспозиция уақыты, біріншісінен сегізіншіге дейін, қысым жүктемелерінің астында әр кезең үшін 120 минутты құрады. Тоғызыншы кезеңде экспозиция уақыты 270 минутты құрады. Құрылымдық-технологиялық шешім GeoSM өндірушісінің "Геофлакс" геосинтетикалық торын қолдану арқылы қабылданды (сурет 2).

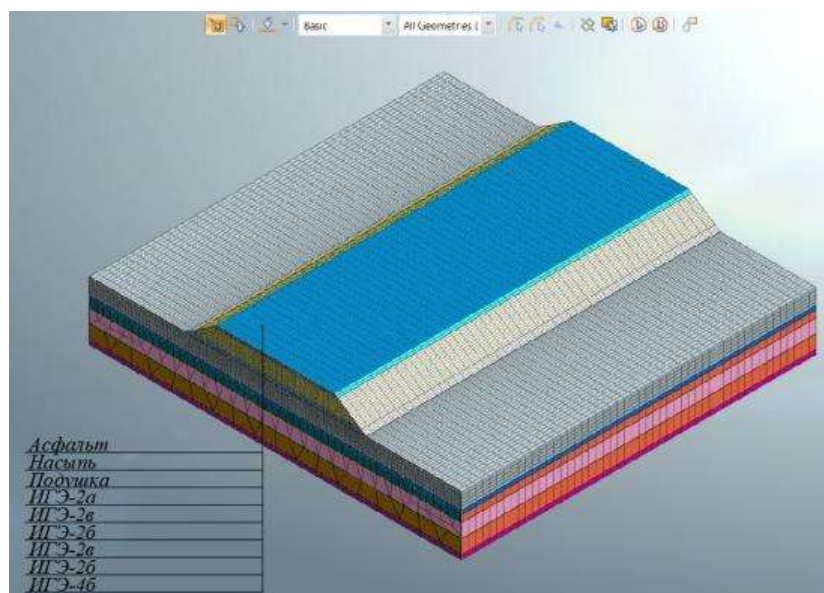
Топырақтың шөгуі кейбір жерлерде мүмкін, өйткені EGE-2 топырақтары шөгу қасиеттеріне ие. Құлау тұрғысынан геотехникалық жағдайлар I (бірінші) және II (екінші) типке жатады. Жобаланған жолдың барлық қиылыстарында қиыршық тас негізі бар асфальтбетон жабыны бар. Асфальтбетонның қалыңдығы 0,11-ден 0,38 м-ге дейін. Жол төсемдерінің конструкцияларын жобалау бір - бірімен байланысты және бір-біріне қарама-қайшы келмеуі керек екі кезеңнен тұрады: жобалау және есептеу. Жол киімдерін жобалау Жергілікті ресурстар негізінде ең қолайлы материалдарды таңдаудан және жұмыстарды ұйымдастырудан, жеке қабаттардың мөлшерін тиісті түрде анықтаудан және оларды тереңдікке қоюдан тұрады. Үйіндіге арналған конструктивті шешімдер 2-суретте көрсетілген.



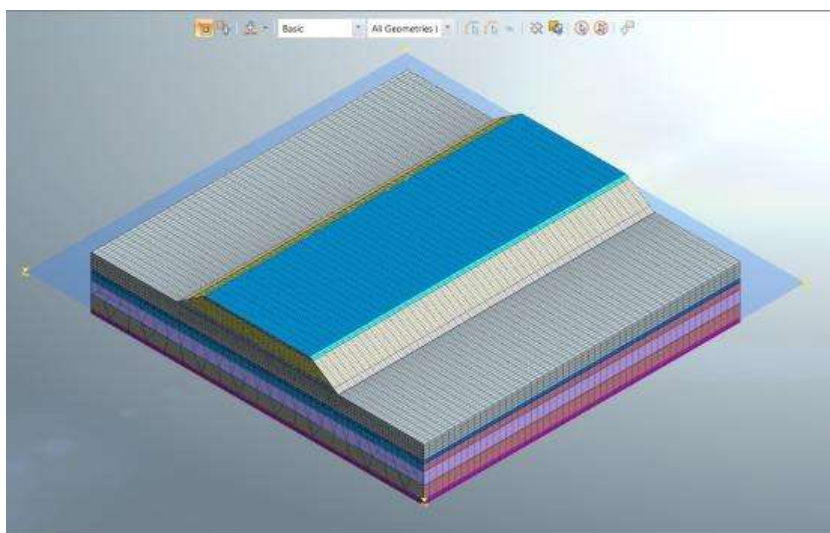
Сурет 2 – Жалпы конструктивті шешім

Көлемді сіңіру принципі бойынша дренаж қабаты қабатқа түсетін су оның кеуектеріне толық сыйып кететін жағдайларда салынады. Бұл жағдайда мұндай қабаттардан су шығарылмайды, ал қабаттардың өзі тек жол киімдерінің астына қойылады. Қалыңдығы капиллярлық көтерілу биіктігіне дейін белгілі бір қоры бар дренажды қабаттағы су жол төсеміне зиянды әсер етпейді. Дренаж контрукциясын таңдау опцияларды техникалық-экономикалық салыстыру негізінде жүзеге асырылуы керек. Геогрид топырақтың тұрақтылығын едәуір арттыратын берік матрац негізін қамтамасыз етеді. Геогрид қолданудың әсері үйінді денесінде және геогрид қабатында пайда болады.

Құрылымдық-технологиялық шешімді тексеру үшін GTS NX Midas бағдарламалық кешенін қолдана отырып есептеу жүргізілді (сурет 3-5).

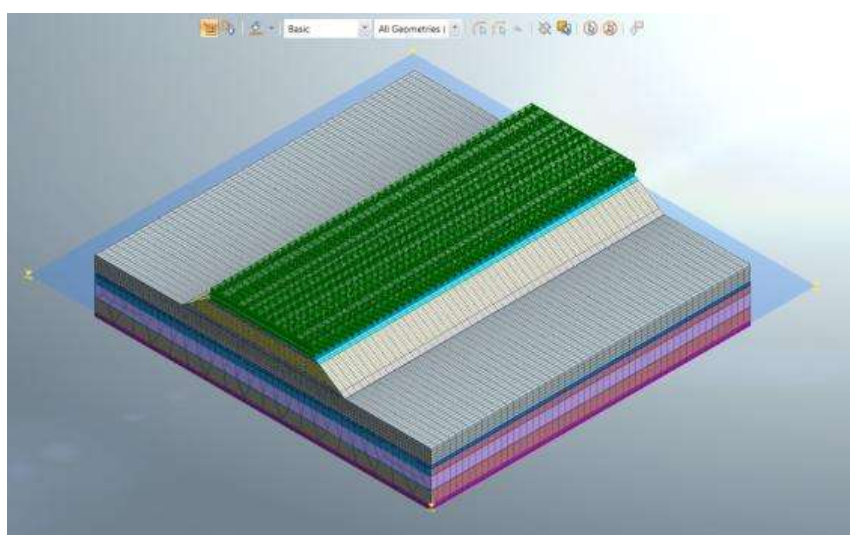


Сурет 3 – Есептік модель



УГВ

Сурет 4 – Жер асты су деңгейі бар есептік модель



Сурет 5 – Автомобиль көлігінен жүктеме ҚР ҚН EN 1991-1-1:2002/2011 сәйкес 5 кН/м^2 қабылданды.

Нәтижелер және талқылау

ҚР ЕЖ 5.01-103-2013 (4.5.5-тармақ) сәйкес қысымды жүктемелер кезінде F_u қадаларының шекті кедергісі үшін осы жағдайлар туындаған кезде, жүргізілген сынақтардың нәтижелері бойынша 239,0 тк жүктемені қабылдау керек.

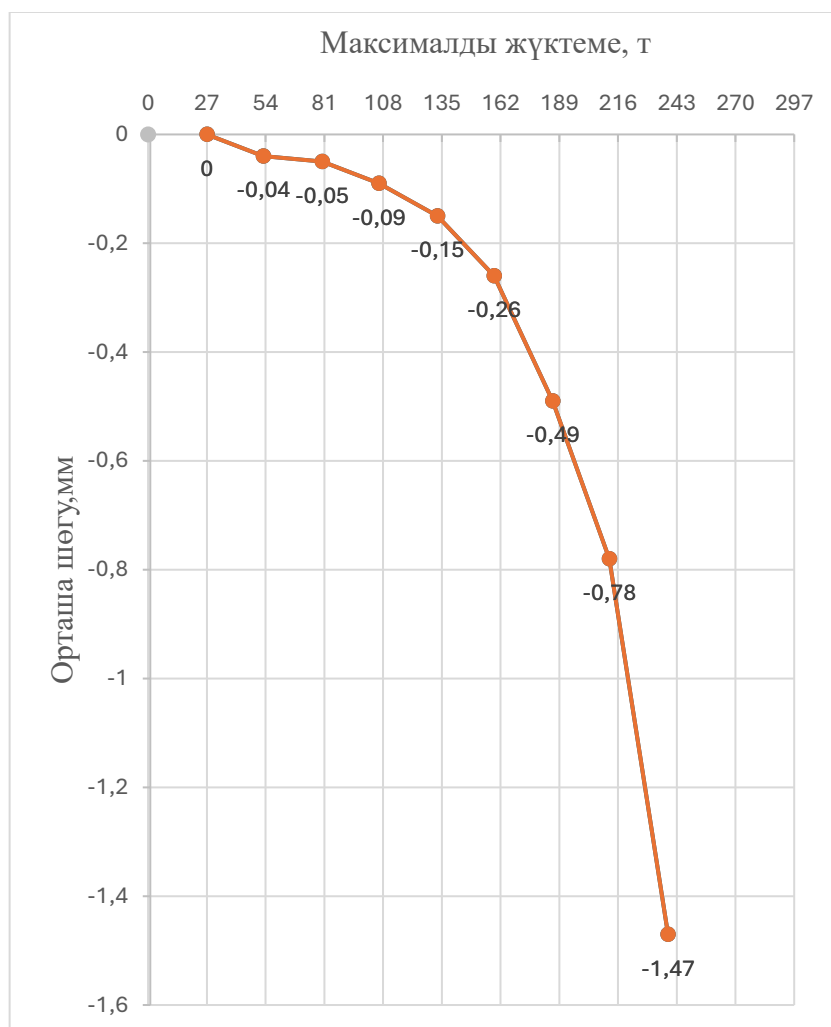
Статикалық сынақ нәтижелері №3 тіректегі №3 қаданың жүк көтергіштігі топырақ бойынша максималды қысымды жобалық жүктемені қабылдау үшін жеткілікті екенін көрсетті.

Сынақ нәтижелері 3-кестеде және 6 -7 – суреттерде келтірілген.

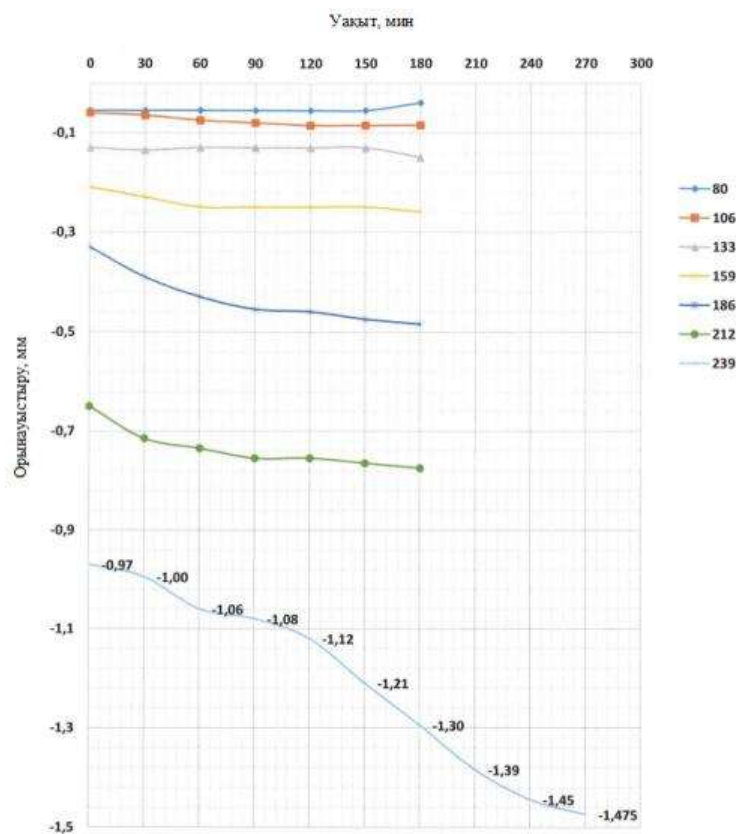
Кесте 3 – Статикалық сынақтардың нәтижелері

Участок	жүктеме кезеңінің №	Қаданың №	Максималды жүктеме, т	Орташа шөгу, мм
ПК 244+77	1	3	27	0,00
	2	3	53	0,04

	3	3	80	0,05
	4	3	106	0,09
	5	3	133	0,15
	6	3	159	0,26
	7	3	186	0,49
	8	3	212	0,78
	9	3	239	1,47
	10	3	265	



Сурет 6 – Сынақтың барлық кезеңдеріндегі бұрғылау қадаларының жалпы шөгудің нәтижелер кестесі

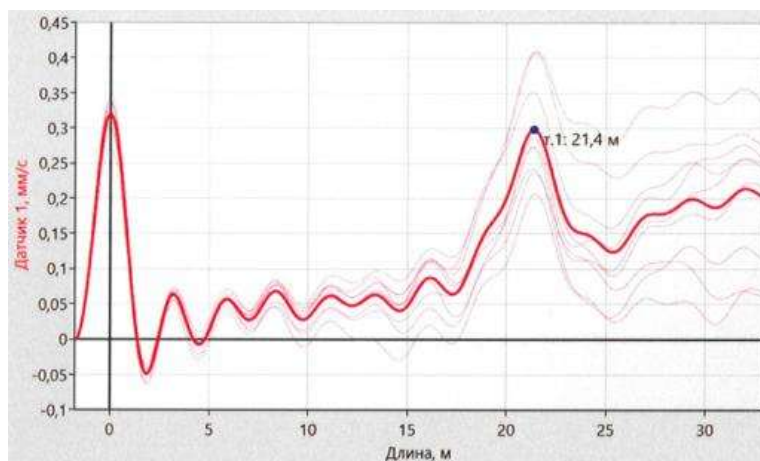


Сурет 7 – Жүктеу қадамдары арқылы бұрғылау қадасының шөгу нәтижелерінің графигі

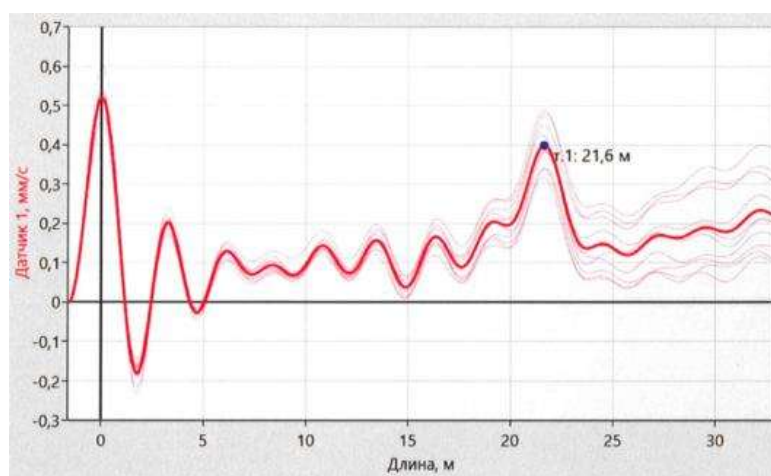
Қадалардың тұтастығын сынау нәтижелері 4-кестеде және 8, 9-суреттерде көрсетілген.

Кесте 4 – Сынақ нәтижелері

Орналасқан жері	Тірек No.	Қада No.	Қаданың ұзындығы, м	Тест нәтижесі
ПК 244+77	1	1	21,4	қанағаттанарлық
		2	21,6	қанағаттанарлық
		3	21,0	қанағаттанарлық
		4	21,3	қанағаттанарлық
		5	21,6	қанағаттанарлық
		6	21,6	қанағаттанарлық
		7	21,0	қанағаттанарлық
		8	21,6	қанағаттанарлық
		9	21,3	қанағаттанарлық
	2	10	21,5	қанағаттанарлық
		1	13,6	қанағаттанарлық
		2	13,5	қанағаттанарлық
		3	13,6	қанағаттанарлық
		4	13,5	қанағаттанарлық
		5	13,9	қанағаттанарлық

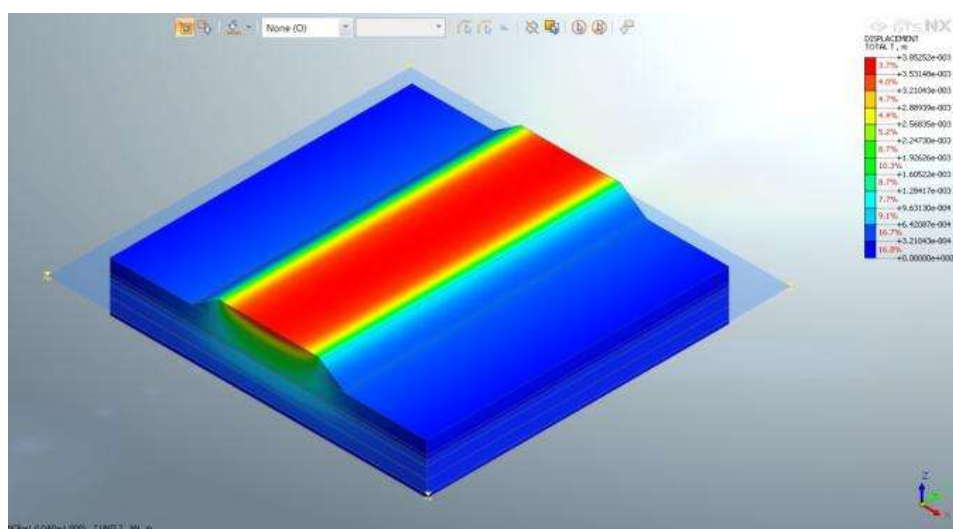


Сурет 8 – №1 қаданың денесі арқылы толқынның өтуін талдау



Сурет 9 – №2 қаданың денесі арқылы толқынның өтуін талдау

GTS NX Midas бағдарламалық кешенін қолдана отырып, үйіндінің жалпы қозғалысын есептеу нәтижелері қозғалыс кезінде максималды деформация 3,8 мм болатындығын көрсетті (сурет-10).



Сурет 10 – Үйіндінің автомобиль көлігі динамикасынан жалпы орын ауыстыруы

Қорытынды

Шөгінді топырақты нығайтудың тиімді әдістерінің бірі-геосинтетикалық материалдарды қолдану. Бұл материалдар жоғары беріктікке және геотехникалық тұрақтылыққа ие, бұл топырақ негізіндегі шөгу мен деформация ықтималдығын азайтады.

Осыған байланысты зерттеуде ең жоғары сенімділікпен Күрделі топырақ жағдайында автомобиль жолын салуды қамтамасыз етуге бағытталған бірқатар іс шаралар жүргізілді.

Зерттеу барысында конструктивті – технологиялық шешім негізінде мынадай қорытындылар жасалды:

1. Шөгінді топырақтардың физика-механикалық қасиеттеріне талдау жасалды.
2. Кешенді зерттеулер жүргізілді. Статикалық қадаларды сынау нәтижелері топырақтың көтергіштігі максималды жүктеме үшін жеткілікті екенін көрсетті ($P_{max}=239$ тк, $S=1,47$ мм). Қадалардың тұтастығын сынау нәтижелері қанағаттандырылды.
3. Сандық модельдеу жол үйіндісінің тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Жол үйіндісінің тұрақтылығын сандық модельдеу көлік қозғалысы кезінде максималды деформацияның 3,8 мм екенін көрсетті.

Әдебиеттер тізімі

1. Луцаева Т.Т., Васильева Л.В. Испытание грунтов по строящемуся объекту “Большая Алматинская кольцевая дорога (БАКАД)”: Инженерно-геологические работы. Алматы: Проектно-изыскательский институт ТОО “Казахский Промтранспроект,” 2021. Р. 17.
2. Хардигов П.Г. Статическое испытание грунтов по строящемуся объекту “Большая Алматинская кольцевая дорога (БАКАД)”: Статическое испытание. Алматы, 2020. Р. 21.
3. Houston, S.L.; Houston, W.N.; Lawrence, C.A. Collapsible Soil Engineering in Highway Infrastructure Development. J. Transp. Eng. 2002, 128, 295–300, doi:10.1061/(APE)0733-947X(2002)128:3(295).
4. Development Roads Committee of the Ministry of Industry and Innovative. Automobile Roads; Available online: <https://www.gov.kz/memleket/entities/roads/activities/252?lang=ru>. (In Russian) .
5. Government of the Republic of Kazakhstan. State Program Infrastructural Development Republic of Kazakhstan "Nurly Zhol for 2020 – 2025; Available online: <https://primeminister.kz/ru/gosprogrammy> (accessed on 9 December 2020). (In Russian).
6. KGS, LTD. Working Project «Big Almaty Ring Road Construction». Technical report; 2020.

Авторлар туралы мәліметтер:

Түлебекова Әсел Серікқызы - «Құрылыс» кафедрасының профессорі, Ph.D., Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, krasavka5@mail.ru

Жанкина Айжан - «Құрылыс» кафедрасының PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, zhankina_aizhan@mail.ru

Илюбаева Амина - «Құрылыс» кафедрасының магистр, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, amina-bidaik@mail.ru

Джумабаев Атоғали Аленович- «Құрылыс» кафедрасының профессорі, т.ғ.д, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, atagali@list.ru

Информация об авторах:

Түлебекова Асель Сериковна - профессор кафедры «Строительство», Евразийский Национальный Университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, krasavka5@mail.ru

Жанкина Айжан - PhD кафедры «Строительство», Евразийский Национальный Университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, zhankina_aizhan@mail.ru

Илюбаева Амина – магистр кафедры «Строительство», Евразийский Национальный Университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, amina-bidaik@mail.ru

Джумабаев Атогали Аленович- «Құрылыс» кафедрасының профессорі, д.т.н., », Евразийский Национальный Университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, atagali@list.ru

Information about authors:

Tulebekova Assel - PhD, Professor of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, krasavka5@mail.ru,

Zhankina Aizhan – PhD of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, zhankina_aizhan@mail.ru

Ilyubayeva Amina - Master of Civil Engineering department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, amina-bidaik@mail.ru

Jumabayev Atogali- - Dr., Professor of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, atagali@list.ru

Авторлардың қосқан үлесі:

Түлебекова А.– концепция, анализ, құрылым, өңдеу.

Жанкина А.– визуализация, мәліметтерді жинау, интерпретация, есептеу.

Илюбаева А. - визуализация, есептеу.

Джумабаев А. - методология, ресурстар.

Вклад авторов:

Түлебекова А.-концепция, анализ, структура, обработка.

Жанкина А. - методология, ресурсы.

Илюбаева А.-визуализация, сбор данных, интерпретация, расчет.

Джумабаев А.-визуализация, вычисление.

Author contributions:

Tulebekova A. – concept, analysis, structure, editing.

Zhankina A.- visualization, data collection, interpretation, calculation.

Ilyubayeva A.– – visualization, calculation.

Jumabayev A. – methodology, resources.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА

А.Түлебекова¹, А. Илюбаева^{1*}, А.Сериков^{1}, А.Жанкина^{1***}**

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

Аннотация. Просадочность характеризуется способностью грунта изменять свой объем и форму под воздействием внешних нагрузок, что может приводить к деформациям конструкций, расположенных на его поверхности. Это явление особенно актуально для слабых и нестабильных грунтов, таких как глинистые и иловые отложения, которые имеют склонность к значительным просадкам при изменении влажности или после воздействия нагрузки. Для предотвращения нежелательных последствий при строительстве автодорог и

других инфраструктурных объектов на таких грунтах необходимо использовать методы укрепления и стабилизации, в том числе применение геосинтетических материалов. Эти материалы способствуют улучшению прочностных характеристик основания и снижению рисков деформаций. Дорожная насыпь представляет собой инженерное сооружение, предназначенное для равномерного распределения нагрузок от транспортных средств на основание дороги. Она состоит из нескольких слоев материалов, каждый из которых выполняет свою функцию в обеспечении прочности и стабильности дорожной конструкции. Важным аспектом является то, что насыпь должна быть спроектирована так, чтобы эффективно передавать нагрузки от движения транспорта на глубоко уплотненные и твердые слои грунта. В статье представлены результаты полевых испытаний просадочных грунтов и результаты расчетов методом конечных элементов. Описаны методы и условия испытаний, а также конструктивно-технологическое решение дороги. Эффективность этой методики зависит от возможности ее применения в различных инженерно-геологических условиях. Результаты испытаний представлены в виде графиков, показывающих зависимость просадки грунта от нагрузки.

Ключевые слова: просадка грунта, статическая нагрузка, уплотнение, геосинтетическая георешетка.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GEOSYNTHETIC MATERIALS FOR SOIL STRENGTHENING

A.Tulebekova ¹, A. Zhankina ¹, A. Ilyubayeva¹

¹Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

Abstract. Shrinkage is characterized by the ability of soil to change volume and shape under the influence of external loads, which can lead to the deformation of the structures located on its surface. This phenomenon is particularly true for weak and unstable soils, such as clay and silty sediments, which tend to settle significantly with changes in moisture content or after loading. To prevent adverse effects, constructing roads and other infrastructure projects on such soils requires strengthening and stabilization techniques, including geosynthetics. These materials help improve the base's strength characteristics and reduce the risk of deformation. An embankment is an engineering structure designed to distribute loads from vehicles on the road base evenly. It consists of several layers of materials, each with the function of providing strength and stability to the road structure. An important aspect is that the embankment must be designed to effectively transfer the loads from vehicle traffic to the deeply compacted and hard soil layers. The paper presents the results of field tests of sedimentary soils and the results of finite element calculations. The test methods and conditions as well as the structural and engineering solution of the path are described. The effectiveness of this technique depends on the possibility of its application in different engineering-geological conditions. The test results are presented in the form of graphs showing the dependence of soil subsidence on load.

Keywords: ground subsidence, static load, compaction, geosynthetic geogrid.



Copyright: © 2025 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/>).



УДК 378 (075.8): 625.855

ПОВЫШЕНИЕ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ КАЗАХСТАНА

Д.Е. Есентай¹, Г.Т. Асанова¹ 

¹Казахский Автомобильно-Дорожный Институт им. Л. Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан

*Корреспондент автор: g.asanova@qazjolgi.kz

Аннотация. В статье проанализированы применения химических реагентов для предотвращения зимних видов скользкости на дорогах с цементобетонным покрытием. Глубоко изучены характеристика образования скользкости на поверхности цементобетонных покрытий с учетом изменения температуры и относительной влажности воздуха. Авторами в лабораторных условиях определены солеустойчивые характеристики цементобетонных покрытий и установлены их прочностные свойства от концентрации растворов. На основе этих данных определены максимально-допустимые нормы распределения химических растворов и концентрации растворов. Также в результате полевых и лабораторных условий установлены виды реагентов, применимые для дорог с цементобетонным покрытием.

Ключевые слова: автомобильные дороги с цементобетонным покрытием, противогололедные реагенты, концентрация растворов химических реагентов, норма распределения, солеустойчивость цементобетонных покрытий

Введение

В практике дорожной и коммунальной службы применение химических реагентов для предотвращения зимней скользкости на автомобильных дорогах практически во многих странах мира, в т.ч. Казахстане, имеет весьма актуальное значение. Использование химического метода борьбы со скользкостью по сравнению с другими методами с эксплуатационной точки зрения наиболее экономически выгодным. Область применения этого метода распространяется в особо интенсивных и скоростных дорогах (более 3000 авт/сут, скорость в зимнее время более 70 км/ч) [1].

Однако применение большинства химических реагентов в зоне с резкоконтинентальным климатом зачастую не дает положительного эффекта. Кроме того, их применения с экологической точки зрения также имеет неудовлетворительный характер, значительно снижает плодородность почвы в придорожной зоне, повышает коррозионную активность металлов в деталях транспортных средств и конструкциях мостовых сооружений. Кроме того, повышенное содержание хлор-ионов в составе снега попадает в подземные и грунтовые воды и тем самым снижает вкусовые качества питьевых источников [1, 2].

В современной деятельности дорожных администраций важное место занимает контроль за расходованием денежных средств на противогололедные материалы (ПГМ), используемых при зимнем содержании автомобильных дорог. Изменение условий образования снежно-ледяных отложений на дорогах с цементобетонным покрытием из года

в год делает затруднительным сравнительный анализ таких данных [2]. В Швеции для решения этой проблемы Национальная дорожная администрация (SNRA) предложила показатель зимних дорожных погодных условий, так называемый показатель зимней погоды (WINTER INDEX).

В Финляндии с целью оптимального расходования средств на зимнее содержание все автомобильные дороги разделены на пять классов обслуживания в зависимости от интенсивности движения: Is $\rightarrow$ 6000 авт./сут; I – 3000-6000 авт./сут; Ib – 1000-3000 авт./сут; II – 200-1000 авт./сут; III – $<$ 200 авт./сут [3].

Финская коммунальная хозяйства в борьбе со скользкостью редко используют химические реагенты. Для повышения сцепных качеств дорог они используют гранитную крошку (рис. 1) [3].



Рисунок 1 – Применение гранитной крошки против скользкости на городских дорогах Финляндии

Методология

Химические методы на автодорогах Средней Азии и Казахстана не всегда приемлемы из-за резкоконтинентальности климата. Например, средний перепад суточной температуры воздуха в самом холодном месяце года в Центральном Казахстане составляет 13-19 °С, в Восточных – 11-16 °С, в Северных – 11-14 °С, а в Южных – 11-19 °С. Годовое количество осадков соответственно – 260-300, 340-370, 300-340 и около 150 мм [4]. Поэтому, применение передового опыта развитых стран мира в условиях IV-V дорожно-климатических зонах не всегда практичны из-за следующих технологических соображений: во-первых, отсутствие городской коммуникаций для распределения жидких противогололедных реагентов; во-вторых, из-за большого перепада суточной температуры воздуха противогололедные растворы замерзают в трубопроводах противогололедной системы.

Прогнозирование образования скользкости на автомобильных дорогах с цементобетонным покрытием в зимнее время. Образование скользкости на поверхности дорожного покрытия весьма сложный процесс, в значительной степени зависящий от температуры и влажности среды, и теплообменного процесса, передаваемого от колес движущихся автомобилей при скольжении (торможении) и качении. На процесс образования гололеда также влияют климатические особенности, такие, как суточный перепад температуры воздуха и физико-механические свойства самого снежно-ледяного образования [5].

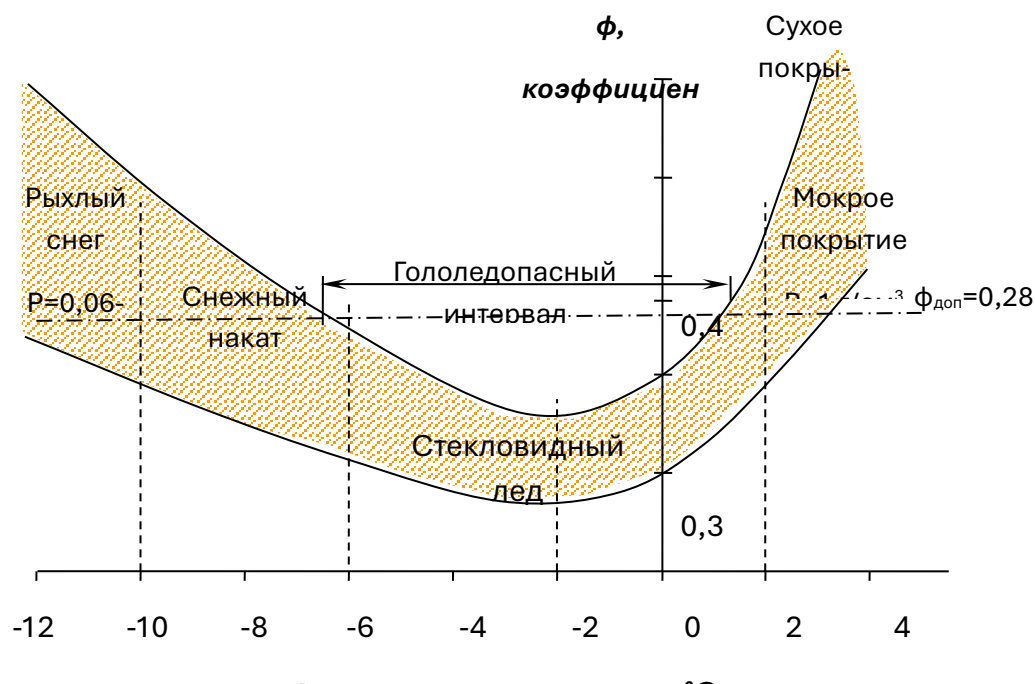


Рисунок 2 – Характер образования гололеда на поверхности покрытия в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха

Образование наледи на цементобетонном покрытии возникает в интервале от +2 до -10 °C и относительной влажности от 70 % и выше (рис. 1). Следовательно, в зависимости от вышеперечисленных климатических данных, на поверхности дорожного покрытия в зимние время и межсезонные периоды года образуются следующие виды скользкости: в интервале температуры от +2 до -1 °C – мокрый снег или влажное покрытие, влажность воздуха при этом колеблется в пределах $W_0=92-96\%$; от -2 до -6 °C – обледенелое покрытие, когда нижняя часть образования еще может быть твердым накатанным снегом ($W_0=72-80\%$); и от -6 до -10 °C – снежно-ледяное образование в виде снежного наката ($W_0=60-68\%$) [1,4,9,10].

Теоретические предпосылки и лабораторные испытания по установлению плавящей способности противогололедных реагентов. Цементобетон является гигроскопическим материалом по сравнению с асфальтобетоном. Поры цементобетона легко пропитываются влагой в свое тело. При таких случаях наиболее приемлемым способом установления температур равновесия между твердыми и жидкими фазами является метод термического анализа, не требующий ни механического разделения, ни химического анализа находящихся в равновесии фаз. Различают следующие методы установления температур равновесия: визуальный и метод кривых «время-температура» (рис. 2). Визуальный метод применим только для сред с высокой прозрачностью для наблюдения [6].

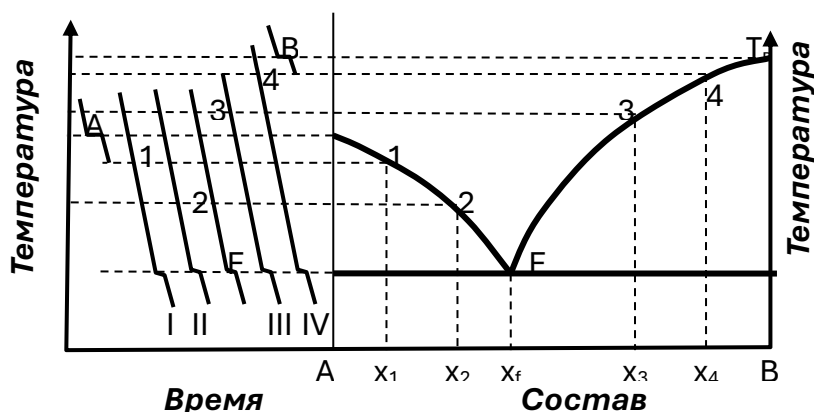


Рисунок 3 – Диаграмма состояния двухкомпонентной системы по кривым охлаждения

Процессы тепловых явлений при растворении химических реагентов в значительной степени определяет скорость и продолжительность их взаимодействия. Тепловой эффект при растворении различных реагентов существенно отличается друг от друга. Например, при растворении хлористого натрия NaCl реакция эндотермическая (отрицательная), т.е. протекающая с погашением тепла. Этим объясняется то, что первоначальное действие хлористого натрия на лед проявляется несколько медленнее по сравнению с хлористым кальцием и магнием CaCl_2 , MgCl_2 , у которых реакция растворения экзотермическая (положительная), и происходит с выделением большего количества тепла [7. 8].

Под плавящей способностью химических реагентов подразумевается количество льда, расплавляемого 1 граммом химического вещества в течение определенного промежутка времени. Это выражается следующей формулой [2]:

$$P = \frac{V_{\text{л}}}{V_{\text{в}}} \quad (1)$$

где P – плавящая способность химического реагента; $V_{\text{л}}$ – количество расплавленного льда, г; $V_{\text{в}}$ – количество сухого химического вещества, г.

В лаборатории АО «КаздорНИИ» проведены лабораторные испытания по определению плавящая способность различных реагентов в зависимости от их концентрации. Испытание проведены в морозильной камере при температуре -10°C . Лед подготавливался искусственным методом в 3-х литровой прозрачной полиэтиленовой посуде до толщины 11 мм. Заранее подготавливались противогололедный раствор с концентрацией от 5 до 25 % с шагом 5 %. В качестве испытуемого реагента был принят бишофит.

Результаты испытаний приведены на рис. 3. Как видите, с повышением концентрации раствора ее плавящая способность растет.

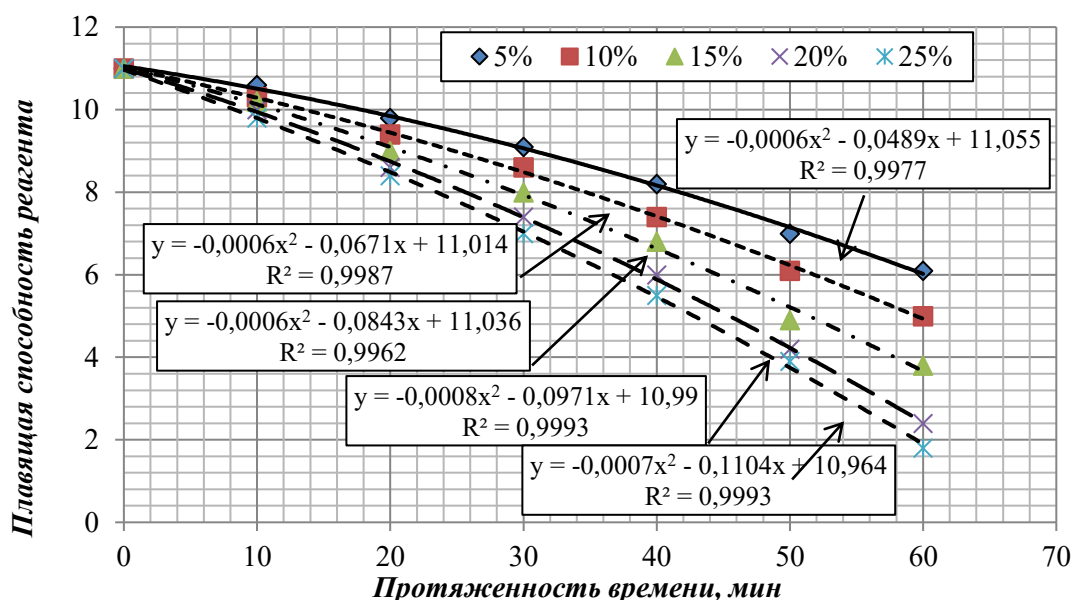
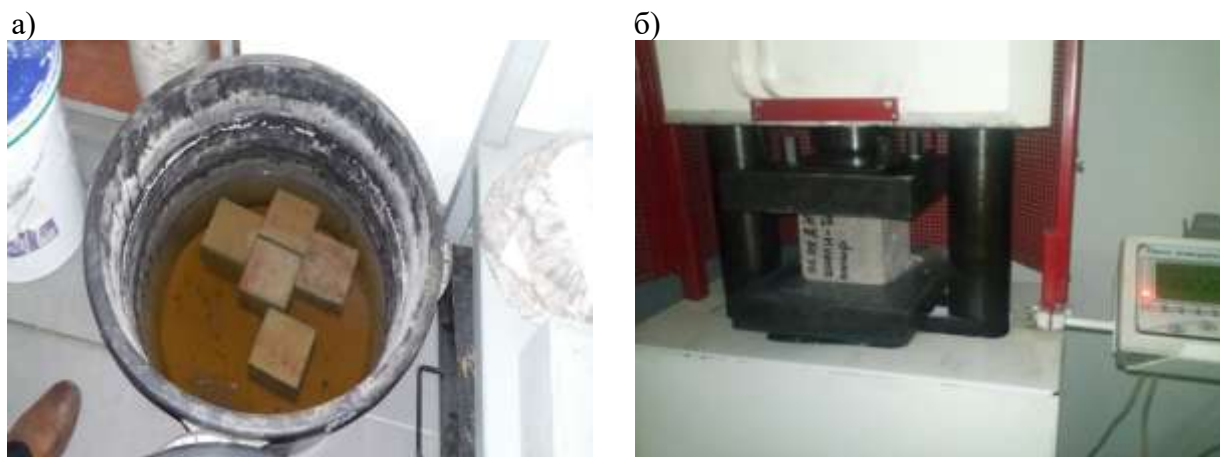


Рисунок 4 – Плавящая способность противогололедного раствора бишофита

Результаты и Обсуждение

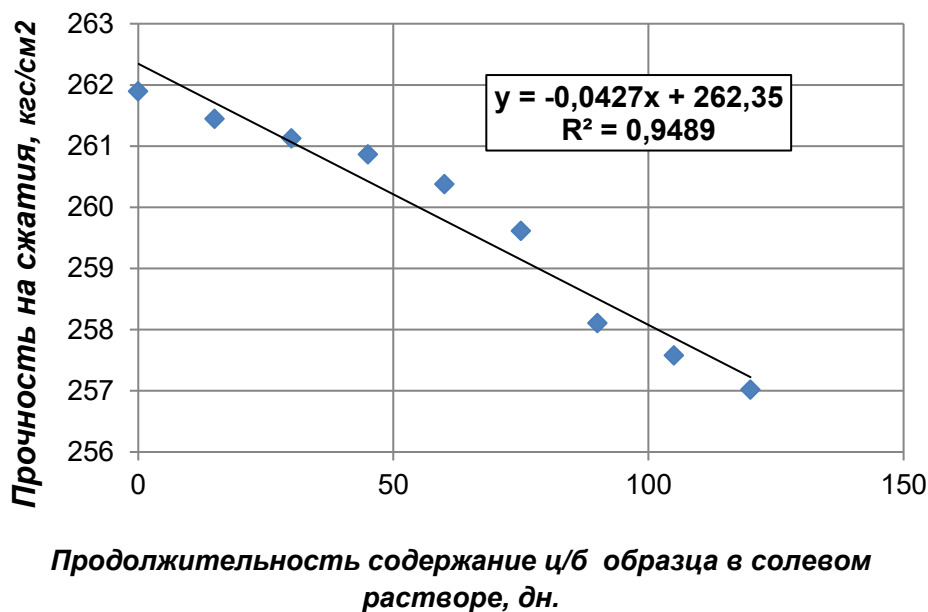
Результаты лабораторных испытаний цементобетона на солеустойчивость. В 19 декабря 2015 году в лаборатории КазАДИ им. Л.Б. Гончарова и повторно в лаборатории АО «КаздорНИИ» нами, под руководством профессора Киялбаева А.К., проведена лабораторная испытания по определению солеустойчивости цементобетона. До проведения испытаний в специальных емкостях подготавливались противогололедные растворы с разными концентрациями. Затем в полевых условиях подготовленные цементобетонные кубики, как показанные на рис. 4, укладывались в противогололедный раствор.



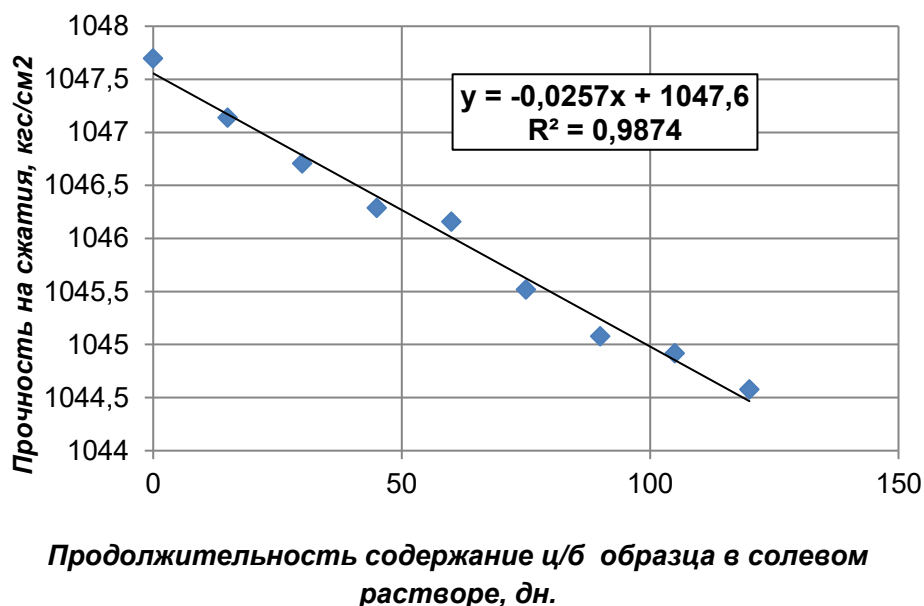
а – выдерживание образцов цементобетона в солевом растворе; б – испытания образцов цементобетона после выдержки в солевом растворе на прессе.

Рисунок 5 – Испытание цементобетона в растворах противогололедных реагентов:

а)



б)



а – для бетона марки В20; б – для бетона марки В80

Рисунок 6 – Потеря прочности цементобетонных образцов в солевых растворах

Результатами лабораторных испытаний нами была установлена зависимость между содержанием цементобетонного образца марки В20 и В80 в солевом растворе и ее прочностью. Как видно на рисунке 6, при 4 месячном выдерживании в 20 %-й концентрации хлористо-натриевого раствора потеря прочности бетона марки В20 составляет 1,8 %, а марки В80 – 0,29 %. Однако, на практике исключается 4-х месячное воздействие цементобетонных покрытий соевым раствором.

Закключение

1. Применение химических реагентов в IV-V дорожно-климатической зоне требует особого контроля выполнения технологических процессов. При температуре ниже $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

на дорогах с резко континентальным климатом (IV-V) применение химических реагентов с эндотермической реакцией (например, хлоридами) не рекомендуется.

2. Длительность эффективного действия химических реагентов зависит от влажности воздуха. При россыпи бишофита ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), технического карбамида (мочевины), ацетата магния наблюдается активное вступление в реакцию (кипящий эффект). Более слабо (медленно) реагирует сульфат натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

3. В процессе испытания на сжатия в прессе определялись потеря прочности цементобетонного образца в солевых растворах. В качестве испытуемых материалов приняты бетоны марки В20 и В80. По результатам данных испытаний установлено зависимость между показателям прочности на сжатия и продолжительностью цементобетонного образца в 15 %-м солевом растворе.

Список литературы

1. Борисюк Н.В. Зимнее содержание городских дорог. – М.: МАДИ (ГТУ), 2006. – 115 с.
2. Киялбаев А.К., Киялбай С.Н. Эксплуатация автомобильных дорог. Учебное пособие. / под ре. Д.т.н., проф. Киялбаева А.К. – Москва-Алматы: МААДО, КазАДИ, 2017. – 343 с.
3. Сарсембаева А.С. Определение плотности распределения химических реагентов при борьбе со скользкостью на автомобильных дорогах. /Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы автомобильных дорог». – Алматы: КазАТК, 2005.- С.143-146.
4. Методы зимнего содержания дорог в Финляндии. – Санкт-Петербург–Павловск: Дорожный учебно-инженерный центр, 1995. – 66 с.
5. ПР РК 218-64-2016 Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах общего пользования. – Астана: Минтранском РК, 2008. – 96 с.
6. Технический отчет по научно-исследовательской работе. /Разработка практических рекомендаций и технических правил по выбору оптимального состава и концентрации жидких противогололедных реагентов для автомобильных дорог с твердым типом покрытий. – Алматы: КазАДИ, 2018. – 142 с.
7. Evans U.R The Corrosion and Oxidation of Metals: Scientific Pranci-Pb and Practical Applications. – London: Edward Arnold Ltd, 1960. Galvanotecynik. Die Autobahn als Umweltlabor. 2002. № 2. - с 530-531.
8. Kiyalbaev A.K., Borisjuk N.V., Yessentay D.E., Kiyalbay S.N. Substantiation of Application of anti-ice chemical reagents on automobile Roads with cement concrete covering. ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (print). <https://doi.org/10.32014/2018.2518-1491.22>
9. Rosenberg A.M., Gaidis J. M. Kossivas T.G., Previte R.W.A. Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitritte for Use in Reinforced Concrete. – ASTM STR – 629, 1977. – P. 89-99

Сведения об авторах:

Д.Е. Есентай – PhD докторы, ассистент профессор "Қазақ автомобиль-жол институты" (ҚазАЖИ), Алматы, Қазақстан

Д.Е. Есентай – доктор PhD, ассистент профессор Казахского автомобильно-дорожного института (КазАДИ), Алматы, Казахстан

D.E. Esentai – PhD, Assistant Professor of Kazakh Automobile and Road Institute (KazADI), Almaty, Kazakhstan

Г.Т. Асанова – PhD дәрежесіне үміткер, "Қазақ автомобиль-жол институты" (ҚазАЖИ) ізденушісі, Алматы, Қазақстан

Г.Т. Асанова – соискатель академической степени доктор PhD, Казахский автомобильно-дорожный институт (КазАДИ), Алматы, Казахстан

G.T. Asanova – PhD candidate, Doctoral Researcher of Kazakh Automobile and Road Institute (KazADI), Almaty, Kazakhstan

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Copyright: © 2025 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/>).



**DEVELOPMENT OF NOISE-INSULATING CONCRETE BASED ON
RECYCLED INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE ACOUSTIC PROPERTIES OF
BUILDING STRUCTURES**

**Daniyar Bazarbayev^{1,2} , Assemgul Aikenova¹, Mariya Smagulova^{1,2*} , Assemgul
Nigmatova¹ **

¹Kazakhstan Road Research Institute, Astana, Kazakhstan

²Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Kazakhstan

*Corresponding author: smagulovamariya98@gmail.com

Abstract. This study investigates the development and characterization of a noise-insulating concrete (NIC) incorporating industrial waste (polypropylene, slag, and microsilica) to enhance acoustic performance and sustainability. The research aimed to identify a concrete composition balancing mechanical strength, density, and sound absorption. In the first phase, concrete samples were formulated using recycled polypropylene and other by-products, then cured and tested for compressive strength and density. The second phase focused on measuring the samples' acoustic properties via sound absorption coefficient tests, following GOST standards. Results showed that NIC with polypropylene treatment and active additives achieved a significantly higher compressive strength (2.63 MPa) than other variants, demonstrating improved structural integrity. Moreover, NIC outperformed cellular concrete in sound insulation tests, reducing noise from 98.5 dB to 41.6 dB at 70 cm. This novel approach not only facilitates an effective solution to urban noise pollution but also contributes to eco-friendly construction practices.

Keywords: concrete, slag, cement, polypropylene, noise, testing, sound, waste, material, microsilica

Introduction

The growing demand for environmentally friendly building materials makes researchers look for innovative approaches, in particular to the use of industrial waste in construction [1]. One promising area is the development of soundproofing materials, which play a crucial role in reducing noise pollution in urban environments [2]. Concrete, widely used in construction, has traditionally been valued for its strength and durability, but enhancing its sound insulation properties by incorporating industrial waste not only provides environmental advantages but also offers an effective solution for noise control in buildings [3–7].

The aim of the research is to develop sound-absorbing concrete made from industrial waste based on polypropylene, slag and microsilica. The research is aimed at improving the environmental friendliness of construction materials, while meeting the need for effective noise reduction, which is important in the operation of civil buildings and comfortable living of people.

The laboratory tests carried out studied both the physical properties of concrete, such as strength and density, and its sound absorption characteristics, providing valuable insights into the practical application of these materials as noise insulation.

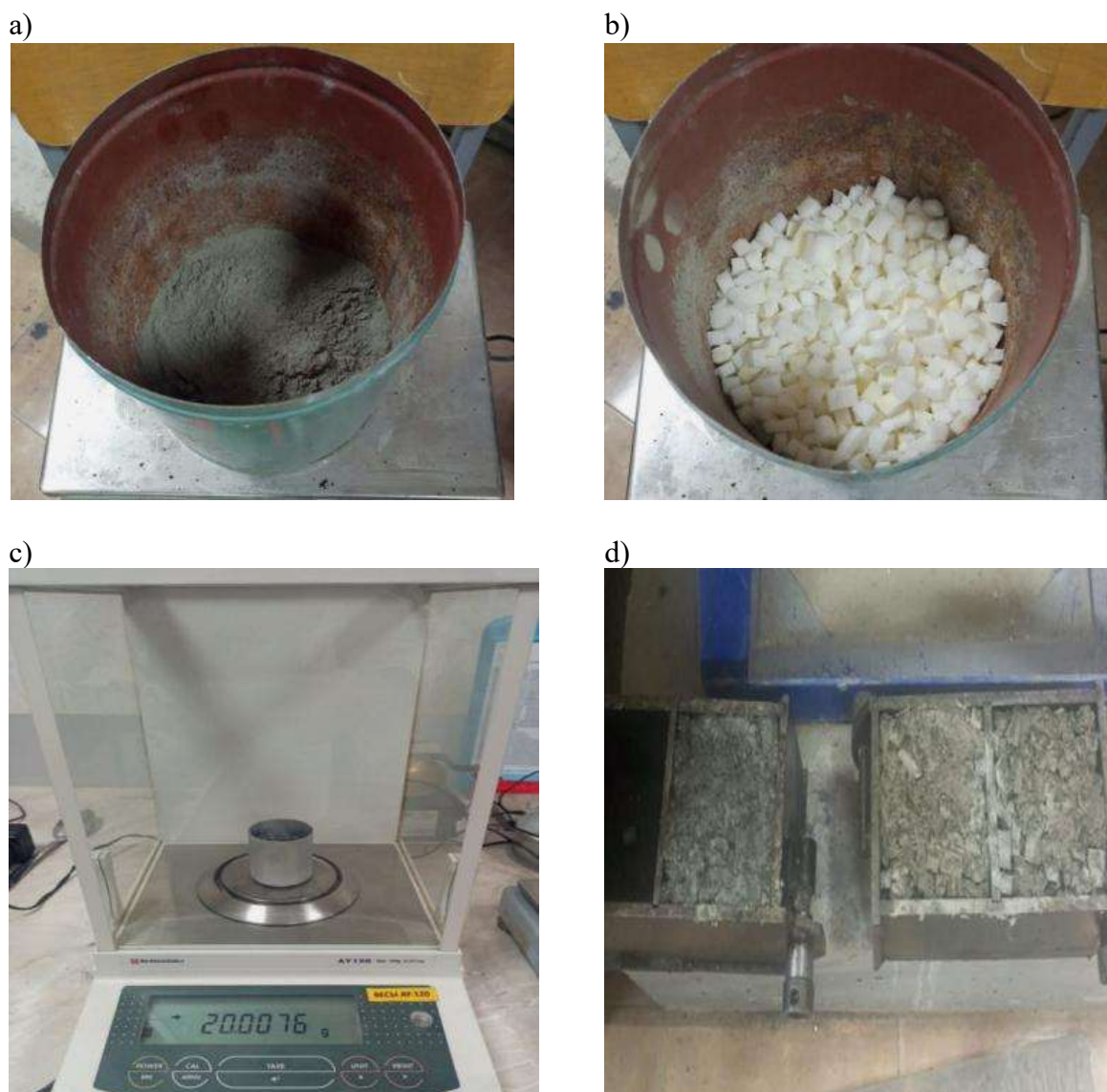
Methodology

This research was carried out in two stages. In the first stage, concrete compositions were developed using industrial wastes such as polypropylene, slag, micro silica (Figure 1). The aim was to identify a composition that balanced strength, density and sound absorption, making it suitable for practical construction applications. Waste materials were chosen for their availability and potential to improve acoustic properties. Concrete samples were poured into 100x100 mm forms and the strength set of concrete samples was carried out within 28 days according to GOST 10180-2012 [8]. The density of the samples was determined according to GOST 12730.1-2020 [9]. Measurement of acoustic characteristics, such as sound absorption coefficient, was carried out in accordance with GOST 23499-2009 [10].

In the second stage, physical and acoustic properties were tested (Figure 1-4).

After curing, the concrete specimens were tested for physical properties. Compressive strength was measured using a PGM-500MG4A universal testing press machine, and density was calculated based on mass and volume. After these tests, the acoustic properties of the samples were evaluated by measuring the sound absorption coefficient according to GOST 23499-2009. The results of the physical and acoustic tests were compared to evaluate the performance of the concrete specimens.

Laboratory compression tests of concrete specimens were carried out (Figure 2).



a) cement, b) polypropylene, c) scales AY-120, d) forms with samples

Figure 1 – Polypropylene Waste for Noise Insulating Concrete (NIC)



Figure 2 – Laboratory compression testing of concrete specimens

The research was conducted in 2 steps:

Step 1 - Preparation of noise insulation concrete

The materials in the ratio to weight of cement presented in Table 1 were used in the formulation of the developed noise insulating NIC concrete.

Sequence of concrete mix preparation:

1 Prepare 0.25 parts water of the total volume and the entire amount of acrylic latex. The slurry is then mixed manually or with a mixer at medium speed for 15 seconds.

2 Then the entire amount of polyethylene crumbs is put into the bowl of the cement mixer. Then, mixing at a medium speed of 120-145 rpm for 30 sec, pour in the prepared suspension of water and acrylic latex.

3 Next, the entire volume of steel slag is stirred and added simultaneously for 30 sec at medium speed.

4 The mixer is then stopped and all materials are collected from the walls of the mixer bowl into the centre of the bowl for 15 sec.

5 Continue stirring at a high speed of 250-300 rpm.

6 The resulting mass is dried in a desiccator for at least 4 hours at a temperature of 70-80 °C.

7 The dried mass is then placed in a concrete mixer, the entire volume of cement, water and sand is added and mixed at medium speed for 3 to 5 minutes.

8 The resulting concrete mixture is compacted using a vibrating pad or submersible mixer in accordance with [6].

9 The concrete mixture is then used for its intended purpose.



Figure 3 – Geometric indices of tested specimens of noise insulating concrete (NIC) after compression testing

Table 1 - Composition of noise insulation concrete

Material	Quantity, in ratio to cement weight
Cement	1
Polypropylene*	0.05
Acrylic latex	0.0625
Water	1
Steel slag	1.25
Sand	1.5
Microsilica	2.5
Note: *Treated polypropylene is made from waste from the production of physically cross-linked polyethylene, with sheets of physically cross-linked polyethylene cut into 10 mm rib cubes.	

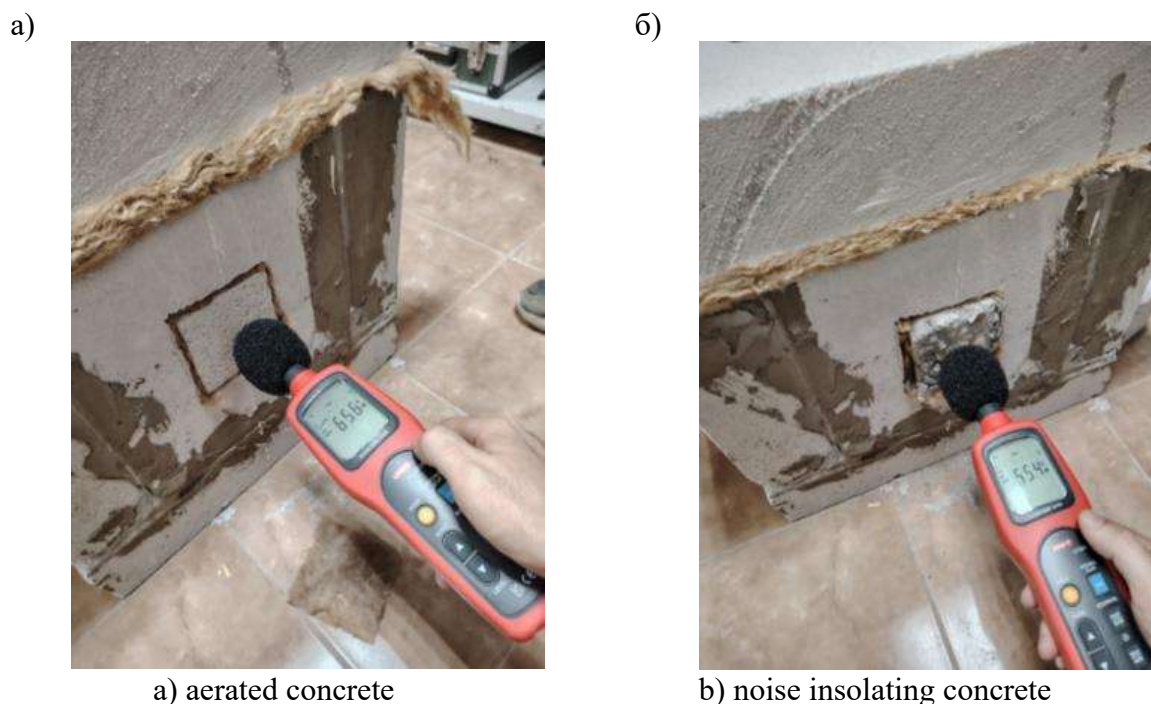


Figure 4 – UT353 noise meter test

Step 2 - Physical and acoustic properties of noise insulating concrete (NIC)

The initial study showed that the use of waste polypropylene and polypropylene reinforcing fiber UARP with or without active additive in the composition of noise insulating concrete has a significant effect on its physical and mechanical properties. The compressive strength of the concrete with additives is lower than that of the control specimen, which may indicate improved noise insulation properties due to the reduction in material density. The modulus of elasticity of the specimens with additives is also lower, indicating greater deformability of the material under load, which may be preferred in interior partitions where vibration absorption is required. Further research should focus on optimizing the formulations to achieve a better balance between strength and noise insulation.

Results and Discussion

Results were obtained for the samples of slag concrete under study (Table 2), which represent the study of the characteristics of noise insulating concrete (NIC) with active admixture, without active admixture and treated with polypropylene. The control concrete sample weighs 2360 grams with dimensions 10x10x10 cm, age 28 days, density 2.36 g/cm³ and predicted compressive strength 21.55 MPa. NIC without active additive is lighter, weighing 1140 grams (Table 2), and its density and compressive strength are lower at 1.14 g/cm³ and 1.02 MPa, respectively. NIC with active additive also weighs 1140 grams but has different dimensions and density (Table 2), also the compressive strength of this sample is higher - 1.46 MPa. The polypropylene-treated NIC sample with active additive has the highest density among all samples and significantly higher compressive strength - 2.63 MPa.

Table 2 - Obtained results of concrete samples

Sample	Weight (g)	Dimensions (cm)	Age (day)	Density (g/cm ³)	Compressive strength (MPa)
Control sample	2345	10x10x10	14	2.34	16.50
NIC without active additive	1260	10.9x10.9x8.97	14	1.26	1
NIC with active additive	1145	11.38x11.38x8.19	14	1.14	1.33
Control sample	2360	10x10x10	28	2.36	21.55
NIC without active additive	1140	10.9x10.9x8.97	28	1.14	1.02
NIC with active additive	1140	11.38x11.38x8.19	28	1.14	1.46
NIC treated with polypropylene	1445	10.35x10.07x9.77	28	1.44	2.63

The current study shows that polypropylene-treated soundproof concrete containing active additives shows a significant increase in compressive strength of 2.63 MPa (Table 2). Compared to the previous tests, the increase was 1.17 MPa. This result confirms that polypropylene treatment contributes to a significant increase in the strength properties of noise insulation concrete.

The sound insulation properties of two concrete samples - noise insulating and cellular concrete (Figure 5) - were tested using a UT353 UNI-T sound level meter at two distances: near (2 mm) and far from the surface (70 cm) (Table 3). The baseline sound level emitted by the source was measured at 98.5 dB (Figure 6).

Table 3 - Results of acoustic tests of porous and noise-insulating concrete

Sample	Distance	Sound level (dB)	Interpretation
Sound source (reference level)	N/A	98.5	Initial sound level
Noise-insulating concrete NIC	2 mm	55.4	Moderate sound absorption at the surface
Noise-insulating concrete NIC	70 cm	41.6	Significant sound reduction, high sound insulation at a distance
Cellular concrete	2 mm	65.6	Greater sound transmission near the surface, less efficient absorption
Cellular concrete	70 cm	51.7	Moderate noise insulation at a distance, less effective than noise insulating concrete NIC

Conclusions

1- Noise Insulating Concrete NIC has demonstrated excellent sound insulation properties, which fulfils the conditions required for civil buildings.

2. The significant decibel reduction compared to other types of lightweight concrete indicates that the developed slag and polypropylene based noise insulating concrete formulation is highly soundproof, making it indispensable in environments where noise reduction is crucial, which are required for modern civil buildings.

3. Cellular concrete, on the contrary, proved to be less effective, transmitting more sound, especially near the wall surface. This proves that the structure of cellular concrete allows more sound to pass through, which results in a lower acoustic performance compared to noise insulating concrete NIC.

4. The developed composition of noise insulation concrete NIC is better suited for applications requiring high-performance noise insulation.

List of references

1. Use of municipal, agricultural, industrial, construction and demolition wastes in thermal and sound building insulation materials: a review article / M. Massoudinejad, N. Amanidaz, R.M. Santos, R. Bakhshodeh // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. - 2019. - Vol. 17, No. 2. - P. 1227-1242. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00380-z>

2. Acoustic Properties of Innovative Concretes: A Review / R. Fediuk, M. Amran, N. Vatin, Y. Vasilev, V. Lesovik, T. Ozbakkaloglu // *Materials*. - 2021. - Vol. 14, No. 2. - P. 398. <https://doi.org/10.3390/ma14020398>

3. Sound-Absorbing and Thermal-Insulating Properties of Cement Composite Based on Recycled Rubber from Waste Tires / J. Svoboda. Svoboda, T. Dvorský, V. Václavík, J. Charvát, K. Máčalová, S. Heviánková, E. Janurová // *Applied Sciences*. - 2021. - Vol. 11, No. 6. - P. 2725. <https://doi.org/10.3390/app11062725>

4. Labouratorial investigation on sound absorption property of porous concrete with different mixtures / Y. Zhang, H. Li, A. Abdelhady, H. Du // *Construction and Building Materials*. Zhang, H. Li, A. Abdelhady, H. Du // *Construction and Building Materials*. - 2020. - Vol. 259. - P. 120414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120414>

5. Mechanical and acoustic absorption properties of lightweight fly ash/slag-based geopolymer concrete with various aggregates / H.A. Mahmoud, T.A. Tawfik, M.M. Abd El-razik, A.S. Faried // *Ceramics International*. - 2023. - Vol. 49, No. 13. - P. 21142-21154. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.03.244>

6. Considerations on sound absorption coefficient of sustainable concrete with different waste replacements / I. Oancea, C. Bujoreanu, M. Budescu, M. Benchea, C.M. Grădinaru // *Journal of Cleaner Production*. - 2018. - Vol. 203. - P. 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.273>

7. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020 / F. Pacheco-Torgal // *Construction and Building Materials*. - 2014. - Vol. 51. - P. 151-162. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.058>

8. GOST 10180-2012 "Concretes. Methods of determination of strength by control samples"

9. GOST 12730.1-2020 "Concretes. Methods of density determination".

10. GOST 23499-2009 "Materials and products of soundproofing and sound-absorbing construction. General technical conditions"

Information on the authors:

Базарбаев Данияр Омарович – PhD докторы, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Астана, Қазақстан, phdd84@mail.ru

Базарбаев Данияр Омарович – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, phdd84@mail.ru

Daniyar Bazarbayev – PhD, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, phdd84@mail.ru

Айкенова Асемгуль Есеновна – магистр технических наук, директор департамента ценообразования и сметных норм АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Айкенова Асемгуль Есеновна – техника ғылымдарының магистрі, «ҚаздорҒЗИ» АҚ Баға және сметалық стандарттар департаментінің директоры, Астана, Қазақстан, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Assemgul Aikenova – Master of Technical Sciences, Director of the Department of Pricing and Estimated Standards of JSC KazdorNII, Astana, Kazakhstan, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Смагулова Мария Кусаиновна – техника ғылымдарының магистрі, «ҚазжолҒЗИ» АҚ Ғылым басқармасының жетекші инженері, Астана, Қазақстан, smagulovamariya98@gmail.com

Смагулова Мария Кусаиновна – магистр технических наук, ведущий инженер Управления науки АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, smagulovamariya98@gmail.com

Mariya Smagulova – Master of Technical Sciences, Leading Engineer of the Department of Science of KazdorNII JSC, Astana, Kazakhstan, smagulovamariya98@gmail.com

Ниғметова Әсемгүл Берікқызы – техника ғылымдарының магистрі, "ҚазжолҒЗИ" АҚ жаңа технологиялар басқармасының жетекші инженері, Астана, Қазақстан, a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Ниғметова Әсемгүл Берікқызы – магистр технических наук, ведущий инженер Управления новых технологий АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Assemgul Nigmatova – Master of Technical Sciences, Leading Engineer of the New Technologies Department of KazdorNII JSC, Astana, Kazakhstan, a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Contribution of authors :

Daniyar Bazarbayev: concept, methodology, resources, data collection, testing, modeling, analysis.

Assemgul Aikenova: visualization, interpretation, writing, editing, obtaining funding.

Mariya Smagulova: methodology support, data collection, testing, analysis, visualization, manuscript review and editing.

Assemgul Nigmatova: data curation, experimental testing, analysis, interpretation, manuscript review and editing.

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



Copyright: © 2025 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/>).



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ, ДИАГНОСТИКЕ И ОСМОТРАМ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ В США В ПЕРИОД С 1970-Х ГОДОВ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>  Бондарь И.С.^{1*}, Хардилов П.Г.², Ремизов Е.Н.¹

¹ АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Алматы, Казахстан

² ООО «Мосты и инженерные проекты», Санкт-Петербург, Россия

*Корреспондент автор: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается эволюция нормативной базы, касающейся обследования, диагностики и осмотров автодорожных мостов в США с 1970-х годов до настоящего времени. Анализируется влияние различных факторов, таких как рост транспортных потоков, старение инфраструктуры и изменения в законодательстве, на развитие стандартов и практик в этой области. Особое внимание уделяется ключевым документам и методологиям, которые были внедрены для повышения безопасности и надежности мостов. Исследование также охватывает современные технологии и подходы, используемые для диагностики состояния мостов, включая неразрушающие методы контроля и автоматизированные системы мониторинга. В заключение подчеркивается важность постоянного совершенствования нормативной базы для обеспечения безопасности дорожного движения и эффективного управления инфраструктурой в условиях меняющихся требований. На приведённом в статье опыте реформирования нормативной базы в США возможно сделать вывод, что система нормирования Республики Казахстан в области обследования мостов нуждается в пересмотре с учетом мирового опыта.

Ключевые слова: автодорожные мосты, нормативные документы, нормы обследования и испытания мостов.

Введение

Общая протяжённость автомобильных (шоссейных) дорог в Соединенных Штатах Америки по данным Central Intelligence Agency по состоянию на 2020 г [1], составляет 7 044 453 км, что составляет 10.88 % всех мировых дорог. На этой сети дорог в Соединенных Штатах насчитывается более 617 000 мостов [2].

В статье [3] приводится содержание отчета об опыте эксплуатации мостов в различных штатах США. Отмечается, что около 50 % из 574 тысяч автодорожных мостов построено до 1940 года. Около 244 тысяч мостов имеют дефекты несущих элементов, не соответствуют функциональному назначению, нуждаются в ремонте, уширении или реконструкции. Стоимость указанных работ оценивается в 50 миллиардов долларов. Многие мосты в стране были построены после того, как в 1956 году был подписан **Федеральный закон об автомагистралях** и Закон о федеральном финансировании строительства автомобильных дорог 1956 года (англ. Federal Aid Highway Act of 1956).

Система автомобильных дорог, известная, тогда как Национальная система межштатных и оборонных автомагистралей имени Дуайта Д. Эйзенхауэра (англ. Dwight D. Eisenhower National System of Interstate and Defense Highways) - сеть скоростных

автомогистралей в США, носящая имя 34-го президента, организовавшего её строительство. Указанная опорная сеть магистральных дорог строилась в течение 35 лет. С того времени сеть расширялась и составила по состоянию на 2020 год 78 465 км [4] (с учётом Пуэрто-Рико), что делает её второй по протяженности в мире после сети скоростных автодорог Китая.

По состоянию на 2020 год более четверти всех транспортных средств США пользовались сетью межштатных магистралей [5]. Система сделала значительный вклад в формирование Соединенных Штатов как экономической и индустриальной державы. Цель этого масштабного проекта состояла в том, чтобы создать общенациональную сеть безопасных автомагистралей с учетом увеличения числа автомобильных перевозок. Финансирование, связанное с этим законом, привело к масштабным усилиям по строительству более 48 000 миль дорожного полотна и мостов, необходимых для этих маршрутов. Многие из этих сооружений были построены в годы, последовавшие за принятием Закона. Примерно 45 процентов межгосударственных мостов, включая городские и сельские, были построены в период с 1961 по 1970 год.

Во время бума строительства мостов в 1950-х и 1960-х годах проверке безопасности и техническому обслуживанию мостов уделялось мало внимания. Ситуация изменилась, когда 15 декабря 1967 года 2235-футовый Серебряный мост в Пойнт-Плезант, Западная Вирджиния, рухнул в реку Огайо, в результате чего погибли 46 человек (см. рисунок 1 и 2).



Рисунок 1 - Разрушение Серебряного моста, 1967 г
Фото из открытых источников сети интернет



Рисунок 2 – Разрушение Серебряного моста, 1967 г. Фото из Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM) (2022 NBIS)

Это трагическое происшествие пробудило национальный интерес к проверке безопасности и техническому обслуживанию мостов. Конгрессу США было предложено добавить раздел в «Закон о федеральной поддержке дорожного движения 1968 года», который обязывал министра транспорта разработать национальный стандарт проверки мостов и разработать программу подготовки инспекторов мостов. Что в свою очередь явилось отправной точкой разработки системы нормирования, которая основана на общепринятых инженерных знаниях и практике, а также на применении инженерных принципов признанными экспертами по проектированию мостов.

Методология и результаты

Переработка нормативной базы в США по проектированию мостов, которая происходила в следующей последовательности.

1970-е годы:

В 1971 году было разработано федеральное постановление, определяющее Национальные стандарты осмотра мостов (*англ.* National Bridge Inspection Standards) NBIS.

В данном нормативно методологическом стандарте были установлены национальные требования в отношении Code of Federal Regulations (CFR, часть 650, раздел 23, подраздел С):

- Организация и проведение инспекций.
- Квалификация персонала.
- Периодичность проверок.
- Процедуры выполнения работ по обследованию, включая оценку обращающихся нагрузок.
- Формы отчетов о проверке мостов.
- Ведение государственного реестра мостов.

Впоследствии были разработаны три основополагающих нормативных руководства по процедурам выполнения работ, которые сыграли важную роль в успешном внедрении NBIS (*Примечание:* NBIS - Национальный стандарт по обследованию мостов) на раннем этапе.

Первым руководством было учебное пособие FHWA № 70 для инспекторов мостов Федерального управления автомобильных дорог (FHWA). Это руководство установило

стандарт подготовки инспекторов. Это было первоначальным предшественником справочного руководства инспектора мостов (BIRM).

Вторым руководством было Руководство по техническому осмотру мостов, подготовленное Американской ассоциацией государственных дорожных инспекторов (AASHTO), выпущенное в 1970 году. Это руководство служило стандартом для обеспечения единообразия процедур и политики при определении физического состояния, потребностей в техническом обслуживании и грузоподъемности автомобильных мостов.

Третьим руководством стало Руководство по регистрации и кодированию данных для инвентаризации и оценки структуры мостов Страны (*англ.* Coding Guide), выпущенное FHWA в июле 1972 года. В нем содержались подробные рекомендации по оценке и кодированию конкретных данных о мостах.

С публикацией Руководства FHWA № 70, внедрением национальных стандартов и руководящих указаний, поддержкой AASHTO и новым учебным курсом FHWA для инспекторов по мостам, предназначенным для использования в отдельных штатах, улучшилась инвентаризация и оценка общего состояния национальных мостов.

В 1970-х годах в нескольких штатах были организованы собственные программы обучения, и инспекции мостов стали более тщательными и последовательными по всей стране.

В 1977 году было выпущено дополнение к руководству FHWA № 70 "Руководство инспектора мостов для разводных мостов" (*англ.* Bridge Inspector's Manual for Movable Bridges). Однако будущее мостов не было безоблачным. В этот период были выявлены две основные проблемы. Одна из них заключалась в том, что потребности в ремонте и замене мостов намного превышали имеющееся финансирование. Другая проблема заключалась в том, что деятельность NBIS ограничивалась мостами, входящими в систему автомобильных дорог федеральной сети. Это привело к снижению стимулов для проверки и инвентаризации мостов, не входящих в систему автомобильных дорог федеральной помощи. Эти две проблемы были решены в "Законе о содействии наземному транспорту от 1978 года" (*англ.* Surface Transportation Assistance Act of 1978). Этот закон обеспечивал важнейшее финансирование для восстановления и нового строительства и требовал, чтобы все общественные мосты длиной более 20 футов (**Примечание:** 6.096 м) были проверены и инвентаризованы в соответствии с NBIS к 31 декабря 1980 года. Любой мост, не проинспектированный и не прошедший инвентаризацию в соответствии с NBIS, не будет иметь права на федеральное финансирование.

В 1978 году Американская ассоциация государственных инспекторов автомобильных дорог и транспорта (AASHTO) пересмотрела свое Руководство по техническому осмотру мостов.

В 1979 году были также пересмотрены NBIS и Руководство по кодированию FHWA. Эти публикации, наряду с Руководством 70, предоставили государственным учреждениям более четкие рекомендации по соблюдению требований NBIS.

1980-е годы:

Национальная программа инспекции мостов в этот период активно используется всеми сторонами жизненного цикла мостов (частные компании и государственные структуры) во всех штатах.

В ходе работы с существующими нормами были выявлены пробелы и несовершенства, которые оперативно устранялись и дорабатывались, за это время, были подготовлены два принципиальных сборника дополнений к Руководству FHWA № 70, который затрагивал водопропускные трубы, это было вызвано рядом происшествий с повреждением работоспособности магистралей в результате нарушения нормальной работы водопропускных труб. Руководство по проверке водопропускных труб (*англ.* The Culvert Inspection Manual) было опубликовано в июле 1986 года. Затем, после обрушения моста через реку Мианус в Коннектикуте в июне 1983 года, внимание всей страны к

проблеме усталости и разрушения мостов стало уделяться все большему количеству людей (см. рис. 3).

В сентябре 1986 года было опубликовано руководство по Проверке критических к разрушению элементов моста (*англ.* Inspection of Fracture Critical Bridge Members), являющихся основным элементом несущего силового каркаса.



Рисунок 3 – Разрушение моста Мианус

Эти два руководства являются результатом извлеченных уроков и продолжающихся исследований в этих проблемных областях.

После обрушения в апреле 1987 года моста Шохари-Крик в Нью-Йорке в результате подмыва опоры и основания паводковыми водами. Выявлено что в действующих нормах вопросы снижения уязвимости мостовых сооружений при паводках и меры противодействия размывам рассмотрены недостаточно. Из более чем 593 000 мостов, включенных в национальный реестр, более 80 процентов находятся над водными путями. В ответ на это FHWA опубликовала техническое руководство "Обследуй мосты" (*англ.* Scour at Bridges,), опубликованное в сентябре 1988 года. В котором содержатся рекомендации по разработке и внедрению программы оценки размыва для:

- Проектирования новых мостов, чтобы противостоять повреждениям, возникающим в результате размыва.
- Оценка существующих мостов на предмет уязвимости к размыву.
- Использование мер противодействия размыву.
- Совершенствование современной практики оценки размыва на мостах.

Дополнительная документация по этой теме доступна в циркуляре FHWA по гидротехнике (*англ.* Hydraulic Engineering Circular) № 18 (HEC-18).

В сентябре 1988 года NBIS был пересмотрен на основе Закона о наземном транспорте и едином законе о содействии переселению” 1987 года, в соответствии с которым должны быть выявлены мосты с критической уязвимостью и установлены специальные процедуры проверки. Такие же требования были предъявлены к мостам, требующим подводного осмотра, и мостам с особыми или уникальными характеристиками. Изменения, внесенные в NBIS, также предусматривали корректировку частоты инспекций сооружений и утверждение сертификатов III и IV уровней Национального института сертификации в области инженерных технологий (NICET) для получения квалификации руководителя инспекционной группы.

В декабре 1988 года FHWA выпустила пересмотренный вариант Руководства по кодированию (*англ.* Coding Guide). Эта корректировка нормативного решения по обследованию мостов можно расценивать как одно из важнейших изменений в NBIS, что в свою очередь формирует Национальную программу инспекции мостов на следующее десятилетие.

1990-е годы:

1990-е годы стали десятилетием развития систем управления мостами (BMS). Несколько штатов разработали свои собственные комплексные системы управления мостами, которые в значительной степени опирались на данные инспекции мостов.

В июле 1991 года было опубликовано справочное учебное пособие 90 для инспекторов мостов (*Примечание: Manual 90*), выпущенное FHWA и заменившее Руководство 70. В котором были представлены усовершенствованные методы осмотра мостов и современное оборудование для осмотра мостов, которого не было ранее. А также были детально переработаны следующие разделы: водопропускные трубы, критическим элементам мостов, вантовые системы, системы предварительно напряжённых с сегментным делением на блоки, а также раздел подводных инспекций.

В 1991 году FHWA спонсировала разработку системы управления мостами под названием "Pontis", которая происходит от латинского слова "мост".

Система Pontis обладала достаточной гибкостью, чтобы обеспечить возможность настройки под любое агентство или организацию, ответственную за обслуживание сети мостов. Одновременно Национальная совместная исследовательская программа по автомобильным дорогам (NCHRP) Совета по транспортным исследованиям (TRB) разработала программное обеспечение под названием "Bridgit", которое в первую очередь предназначалось для небольших мостов или местных систем автомобильных дорог. По мере того, как выявлялось все больше и больше потребностей в мостах, потребность в техническом обслуживании, ремонте, восстановлении и замене мостов намного превышала имеющееся финансирование из федеральных и государственных источников. Даже с учетом финансовой поддержки, предоставленной Законом об эффективности интермодальных наземных перевозок (ISTEA) от 1991 года, финансирование проектов строительства мостов было затруднено. Отчасти это было связано с огромным спросом со всей страны.

Пересмотр NBIS в декабре 1992 года позволил владельцам мостов запрашивать у FHWA разрешение на продление циклов проверки до сорока восьми месяцев для мостов, отвечающих определенным требованиям. Этот пересмотр позволил реже проверять конструкции, находящиеся в хорошем состоянии, с низкими факторами риска.

В 1994 году AASHTO пересмотрела свое руководство по оценке состояния мостов.

В 1995 году было также пересмотрено Руководство по кодированию FHWA.

Эти публикации, наряду с Руководством 90, пересмотренным в июле 1995 года, продолжают предоставлять государственным учреждениям четкие рекомендации по соблюдению требований NBIS и проведению инспекций мостов. Законодательство ISTEA, которое впоследствии было отменено в следующем законопроекте о транспорте, требовало, чтобы каждый штат внедрил комплексную систему BMS к октябрю 1995 года. Это была достаточно амбициозная задача, которая, к сожалению, не была выполнена в полном объеме. Закон о транспортном равенстве 21-го века (TEA-21) был подписан в июне 1998 года. TEA-21 развил и усовершенствовал инициативы, выдвинутые в ISTEA, и, как упоминалось ранее, отменил обязательное требование BMS.

2000-е годы:

В 2002 году Руководство 90 было пересмотрено и обновлено в рамках полной перестройки учебной программы FHWA по проверке безопасности мостов. Новое руководство получило название "Справочное руководство инспектора мостов" (*англ.* Bridge Inspector's Reference Manual) BIRM и включало в себя все положения Руководства 90. В

BIRM также были включены дополнения к руководству № 70 по проверке водопропускных труб и критических элементов для разрушения.

14 декабря 2004 года в Федеральном реестре был опубликован пересмотренный регламент NBIS. Существенные изменения в редакции 2004 года включают требования по выявлению мостов, которые имеют критическое значение, для поиска и разработке планов действий. В нем были изложены специальные процедуры для проверки сложных объектов и рекомендации по устранению критических дефектов, так же были внедрены процедуры обеспечения качества и контроля за качеством (OK/QC). Кроме этого, были обновлены требования к частоте проведения некоторых подводных инспекций, что позволило проводить их с интервалом до 72 месяцев.

Обновленный NBIS вступил в силу 13 января 2005 года. Руководство по оценке состояния мостов (MBE) было впервые принято Подкомитетом по мостам и сооружениям автомобильных дорог AASHTO в 2005 году. MBE объединил Руководство AASHTO по оценке состояния мостов с Руководством по оценке состояния и оценке коэффициента нагрузки и сопротивления (LRFR) автомобильных мостов, чтобы предоставить владельцам единый документ для оценки мостов и оценки нагрузки.

В августе 2005 года был подписан Закон о безопасном, подотчетном, гибком и эффективном транспортном обеспечении: наследие для пользователей (SAFETEA-LU). SAFETEA-LU стала крупнейшей инвестицией в наземный транспорт в истории страны. SAFETEA-LU развила и усовершенствовала инициативы, заложенные в ISTEА и TEА-21.

1 августа 2007 года восьмиполосный автомобильный мост I-35W длиной 1907 футов через реку Миссисипи в Миннеаполисе обрушился, в результате чего погибли 13 человек и еще 145 получили ранения. Основные проблемы безопасности, выявленные в ходе расследования, включали недостаточный контроль качества при проектировании и недостаточную идентификацию деформации накладки.

2010-е годы:

6 июля 2012 года был подписан закон MAP-21 ("Движение вперед, к прогрессу в 21 веке"). Этот закон предусматривал финансирование программ наземного транспорта. В документе MAP-21 говорится, что "в жизненно важных интересах Соединенных Штатов проводить инвентаризацию, инспекцию и улучшение состояния автомобильных мостов и туннелей в Соединенных Штатах". Также выявлена потребность в разработке единых подходов и стандартов тоннелей. Это также потребовало от FHWA разработать и проводить ежегодную проверку соответствия требованиям NBIS и стало первым долгосрочным разрешением на строительство автомобильных дорог, введенным в действие с 2005 года.

4 декабря 2015 года был подписан закон FAST Act (Закрепляющий американский закон о наземном транспорте), который вступил в силу. Закон FAST предусматривает выделение 305 миллиардов долларов в течение 2016-2020 финансового года на обеспечение безопасности автомобильных дорог и автотранспортных средств, общественного транспорта, автомобильных перевозчиков, опасных материалов, железнодорожного транспорта, а также на программы исследований, технологий и статистики. Было разработано несколько новых транспортных средств повышенной грузоподъемности, которые представляют собой аварийно-спасательные и буксировочные средства, подпадающие под действие этого Закона. Ранее BIRM обновлялся в 2012 и 2015 годах.

В 2020-х годах:

В мае 2022 года раздел 23 Кодекса федеральных нормативных актов (CFR) 650, подраздел C, был пересмотрен в соответствии с окончательным правилом NBIS. Это окончательное правило включало обновления, касающиеся применимости NBIS, определений, обязанностей инспекционной организации, квалификации персонала, интервалов проверок, процедур и инвентаря.

Обновление 2022 года включало несколько изменений в терминологии и политике проверки мостов. Применимость правил NBIS была распространена на мосты, находящиеся в собственности племен, мосты, находящиеся в частной собственности, которые соединены с дорогами общего пользования с обоих концов, а также временные мосты или мосты в стадии строительства, участки которых открыты для движения. Были добавлены два новых вида инспекций: сервисный и поисковый мониторинг. Также были внесены некоторые изменения к требованиям по персоналу, такие как специальное обучение по NSTM и подводным инспекциям, а также обновлена квалификация руководителя группы. Кроме того, организации, осуществляющие инспекцию мостов, теперь обязаны вести реестр сертифицированных на национальном уровне инспекторов мостов. Раздел "Интервалы проверок" был обновлен, чтобы предоставить более конкретные рекомендации как по оценке рисков, так и по увеличению интервалов проверок.

В мае 2022 года FHWA опубликовало спецификации для Национальной инвентаризации мостов (SNBI), которые устанавливают обновленные процедуры сбора и обработки данных, соответствующие окончательному правилу NBIS, в данных спецификациях включено требование к разделу (документу) "Элементы национальной инвентаризации мостов" (SNBIBE), включающая информацию об элементах, которая должна быть представлена в SNBI. А SNBI в свою очередь призван заменить Руководство по кодированию FHWA после завершения переходного периода.

BIRM был обновлен в последний раз в соответствии с Руководством по кодированию FHWA в 2022 году, а затем был обновлен в соответствии с окончательными правилами SNBI и NBIS в 2023 году.

Результаты и Обсуждение

За период 1970-2023 годов, развитие нормативной литературной базы в США претерпело множество доработок и несколько ключевых этапов и изменений, которые существенно повлияли на качество проектирования и безопасность при эксплуатации мостов и транспортных сооружений, касающихся инспекции и оценки состояния мостов.

1970-е годы: в этот период началась активная работа по созданию стандартов и руководств для инспекторов мостов. Учебное пособие FHWA № 70 стало основой для обучения инспекторов.

1988 год: FHWA опубликовала техническое руководство "Обследуй мосты" (Scour at Bridges), которое стало важным документом для понимания процессов, связанных с эрозией и безопасностью мостов.

1994 год: AASHTO пересмотрела свое руководство по оценке состояния мостов, что привело к улучшению методов инспекции и оценки.

1995 год: Обновление Руководства по кодированию FHWA и внедрение учебной программы по проверке безопасности мостов. Это обновление привело к созданию "Справочного руководства инспектора мостов" (BIRM), которое включало все положения Руководства 90.

2005 год: Обновленный Национальный стандарт инспекции мостов (NBIS) вступил в силу, что обеспечило более строгие требования к инспекции и оценке состояния мостов.

2022 год: Пересмотр раздела 23 Кодекса федеральных нормативных актов (CFR) 650, который включал требования к "Элементам национальной инвентаризации мостов" (SNBIBE). Это обновление стало важным шагом к улучшению учета и анализа состояния мостов.

2023 год: BIRM был обновлен в соответствии с окончательными правилами SNBI и NBIS, что обеспечило актуальность и соответствие современным требованиям.

Таким образом, за период с 1970 по 2023 годы наблюдается постоянное развитие и улучшение нормативной литературы, что способствует повышению безопасности и эффективности инспекции мостов в США.

Выводы

Возможно провести параллели в развитии транспортно-строительной отрасли и как частное системе обследования мостовых сооружений, принятой в Соединенных Штатах Америки и Республики Казахстан. За почти 32 года независимости в Республике Казахстан при реализации масштабных проектов транзитных коридоров, не реализована система усовершенствования и реформирования нормативной базы по обследованию мостовых сооружений. Действующий в настоящий момент нормативный документ СП РК 3.03–113–2014 «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний», который по своей сути является незначительно доработанным СНиП 3.06.07-86 «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний». В связи с чем документ с незначительной редакцией действует уже более 37 лет и не может в полной мере отвечать современным конструктивным решениям и материалам мостовых конструкций.

На приведённом в статье опыте реформирования нормативной базы в США возможно сделать вывод, что система нормирования Республики Казахстан в области обследования мостов нуждается в пересмотре с учетом мирового опыта.

Список литературы

1. Сайт Central Intelligence Agency <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-book/rankorder/2085rank.html>.
2. Данные портала edition.cnn.com.
3. Hudson S.W., Carmichael R.F., Moser L.O., Hudson W.R., Wilkes W.J. Bridge management systems // "Nat. Coop. Highway Res. Program Rept", 1987, N 300, 1-16, 63-74.
4. Table HM-20 - Highway Statistics 2020 - Policy | Federal Highway Administration
5. NBIS. Code of Federal Regulations. 23 Highways Part 650, Subpart C – National Bridge Inspection Standards, 2022.
6. AASHTO. LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.
7. FHWA. Specifications for the National Bridge Inventory. Washington, D.C.: United States Department of Transportation, 2022.
8. AASHTO. The Manual for Bridge Evaluation, Third Edition. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018.
9. AASHTO. The Manual for Bridge Evaluation, 2019 Interim Revisions (to 2018 Third Edition). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018.
10. AASHTO. The Manual for Bridge Evaluation, 2020 Interim Revisions (to 2018 Third Edition). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020.
11. AASHTO. Manual for Bridge Element Inspection, Second Edition. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2019.

Сведения об авторах (на трех языках):

Бондарь Иван Сергеевич – РФ ЖАК техника ғылымдары докторы, PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), «Сәулет-құрылыс инженериясы» кафедрасы, Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Алматы, Қазақстан, ivan_sergeevich_08@mail.ru

Бондарь Иван Сергеевич – доктор технических наук ВАК РФ, PhD, ассоциированный профессор (доцент), кафедра «Архитектурно-строительная инженерия», АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Алматы, Казахстан, ivan_sergeevich_08@mail.ru

Bondar Ivan – Doctor of Technical Sciences of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation, PhD, Associate Professor, Department of Architectural and Construction

Engineering, Mukhamedzhan Tynyshpayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, ivan_sergeevich_08@mail.ru

Харди́ков Павел Германович – Сот-құрылыс сарапшысы, Көпірлерді диагностикалау бөлімінің басшысы, «Көпірлер және инженерлік жобалар» ЖШҚ, Санкт-Петербург, Ресей, lgkntsm@mail.ru

Харди́ков Павел Германович – Судебно-строительный эксперт, Руководитель отдела Диагностики мостов ООО «Мосты и инженерные проекты», Санкт-Петербург, Россия, lgkntsm@mail.ru

Pavel Hardikov – Forensic Construction Expert, Head of Bridge Diagnostics Department, Bridges and Engineering Projects LLC, St. Petersburg, Russia, lgkntsm@mail.ru

Ремизов Евгений Николаевич – АДА-22-5р тобы студенті, «Сәулет-құрылыс инженериясы» кафедрасы, ALT Мұхамеджан Тынышпаев атындағы Университет, Алматы, Қазақстан, Zhenya.berberogly2004@gmail.com

Ремизов Евгений Николаевич – студент гр. АДА-22-5р, кафедра «Архитектурно-строительная инженерия», ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Алматы, Казахстан, Zhenya.berberogly2004@gmail.com

Remizov Evgeny – student of ADA-22-5p, Department of Architectural and Construction Engineering, Mukhamedzhan Tynyshpayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, Zhenya.berberogly2004@gmail.com

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Бондарь Иван Сергеевич – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование.

Харди́ков Павел Германович – анализ, визуализация, интерпретация.

Ремизов Евгений Николаевич – подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Использование искусственного интеллекта (ИИ): При написании статьи ИИ не был использован.

**1970 ЖЫЛДАРДАН БАСТАП ҚАЗІРГІ УАҚЫТҚА ДЕЙІН АҚШ-ТАҒЫ АВТОЖОЛ
КӨПІРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ, ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ ТЕКСЕРУ БОЙЫНША
НОРМАТИВТІК БАЗАНЫ ЖЕТІЛДІРУ**

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>  Бондарь И.С.^{1*}, Харди́ков П.Г.², Ремизов Е.Н.³

^{1,3} Alt Мұхамеджан Тынышпаев атындағы Университет, Алматы, Қазақстан

² «Көпірлер және инженерлік жобалар» ЖШҚ, Санкт-Петербург, Ресей

*Корреспондент автор: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Аңдатпа. Осы жұмыста 1970-жылдардан бастап қазіргі уақытқа дейінгі АҚШ-та автожол көпірлерін тексеру, диагностика және қарау бойынша нормативтік базаның эволюциясы қарастырылады. Көлік ағынының өсуі, инфрақұрылымның тозуы және заңнамадағы өзгерістер сияқты әртүрлі факторлардың осы саладағы стандарттар мен тәжірибелердің дамуына әсері талданады. Көпірлердің қауіпсіздігі мен сенімділігін арттыру үшін енгізілген негізгі құжаттар мен әдістемелерге ерекше назар аударылады. Зерттеу сондай-ақ көпірлердің жай-күйін диагностикалауда қолданылатын заманауи технологиялар мен тәсілдерді, оның ішінде бұзбайтын бақылау әдістері мен автоматтандырылған

мониторинг жүйелерін қамтиды. Қорытынды бөлімде нормативтік базаны үнемі жетілдіріп отырудың жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі және инфрақұрылымды өзгермелі талаптар жағдайында тиімді басқарудағы маңыздылығы атап өтіледі. Мақалада келтірілген АҚШ-тағы нормативтік базаны реформалау тәжірибесіне сүйене отырып, Қазақстан Республикасының көпірлерді тексеру саласындағы нормалау жүйесін әлемдік тәжірибені ескере отырып қайта қарау қажеттігі туралы қорытынды жасауға болады.

Түйінді сөздер: автожол көпірлері, нормативтік құжаттар, көпірлерді тексеру және сынау нормалары.

IMPROVING THE REGULATORY FRAMEWORK FOR INSPECTION, DIAGNOSTICS AND INSPECTION OF HIGHWAY BRIDGES IN THE USA FROM THE 1970S TO THE PRESENT

<https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>  **Ivan Bondar^{1*}, Pavel Hardikov², Evgeny Remizov³**

^{1,3} ALT Mukhamedzhan Tynyshpayev University, Almaty, Kazakhstan

² LLC «Bridges and engineering projects», St. Petersburg, Russia

*Corresponding author: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Abstract. This paper examines the evolution of the regulatory framework regarding the inspection, diagnosis, and inspection of highway bridges in the United States from the 1970s to the present. The impact of various factors, such as the growth of traffic flows, aging infrastructure and changes in legislation, on the development of standards and practices in this area is analyzed. Special attention is paid to key documents and methodologies that have been implemented to improve the safety and reliability of bridges. The study also covers modern technologies and approaches used to diagnose the condition of bridges, including non-destructive testing methods and automated monitoring systems. In conclusion, the importance of continuous improvement of the regulatory framework for ensuring road safety and effective infrastructure management in the face of changing requirements is emphasized. Based on the experience of reforming the regulatory framework in the United States presented in the article, it is possible to conclude that the rationing system of the Republic of Kazakhstan in the field of bridge inspection needs to be reviewed taking into account international experience.

Keywords: road bridges, regulatory documents, standards for bridge inspection and testing.



Copyright: © 2025 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/>).



МОДИФИЦИРОВАННЫЙ БЕТОН ДЛЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

<https://orcid.org/0009-0000-9335-6329> **Ахансары Алтынсары**^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-6310-2501> **Адия
Жумагулова**¹, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797> **Бексултан Чугулев**², <https://orcid.org/0009-0009-3856-8826>
 Мухтар Алданазаров²

¹Кафедра технологии промышленного и гражданского строительства/ Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: axan_altynsary01@bk.ru

Аннотация. В условиях стремительного развития транспортной инфраструктуры в Казахстане особое внимание уделяется повышению долговечности и эксплуатационных характеристик цементобетонных покрытий. Настоящее исследование направлено на изучение влияния микрокремнезема на структуру, водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость цементного камня, используемого в дорожном строительстве. Целью работы является обоснование эффективности применения микрокремнезема в качестве модифицирующей добавки к цементу. В рамках исследования проведены лабораторные эксперименты с различными дозировками микрокремнезема, с оценкой тепловыделения, гидратации, структуры и водопоглощения цементного камня. Полученные результаты свидетельствуют о повышении плотности структуры и устойчивости модифицированного материала к воздействию агрессивных факторов. Научная новизна заключается в адаптации современных методов модификации бетона под климатические условия Казахстана. Практическое значение заключается в возможности применения разработанных составов в реальных дорожных проектах с повышенными требованиями к прочности и долговечности.

Ключевые слова: микрокремнезем, цементобетон, модификация, долговечность, водонепроницаемость, морозостойкость, дорожное строительство.

Введение

В условиях активного развития транспортной инфраструктуры в Республике Казахстан особое внимание уделяется качеству и долговечности дорожных покрытий. Одним из актуальных направлений современного дорожного строительства является применение цементобетона в качестве основного материала для устройства автомобильных дорог. Однако суровые климатические условия, резкие температурные колебания, высокое водонасыщение и агрессивные внешние факторы снижают эксплуатационные характеристики традиционных цементобетонных покрытий, что обуславливает необходимость их модификации с целью повышения стойкости и увеличения срока службы [4].

Анализ современных научных источников свидетельствует о широком применении минеральных добавок в бетонных смесях, среди которых особый интерес вызывает микрокремнезем — тонкодисперсный продукт, способствующий уплотнению структуры цементного камня и улучшению его эксплуатационных свойств [5]. Вместе с тем

большинство работ сосредоточено на применении данной добавки в условиях мягкого климата, и остаётся недостаточно изученной её эффективность в контексте экстремальных климатических условий Казахстана, что указывает на существующий научный пробел и необходимость проведения дополнительных исследований [2, 3].

Целью настоящего исследования является экспериментальное обоснование эффективности применения микрокремнезема в качестве модифицирующей добавки в цементобетон для повышения его долговечности, морозостойкости и водонепроницаемости, с учетом климатических и эксплуатационных условий Казахстана.

Методология

Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» с целью оценки влияния микрокремнезема на структуру и свойства цементного камня, используемого в цементобетонных покрытиях автомобильных дорог. В соответствии с нормативными документами СТ РК 1662-2007, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 10060.0-95 и ГОСТ 12730.5-84, были проведены испытания по следующим показателям: водопоглощение, морозостойкость, водонепроницаемость, структура и тепловыделение при гидратации цемента[1].

Процедура исследований включала следующие этапы:

1. Подготовка материалов:

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки СЕМ I 42.5Н, соответствующий ГОСТ 31108-2020. В качестве минеральной добавки применялся микрокремнезем с удельной поверхностью $\sim 20\,000\text{ см}^2/\text{г}$.

Добавка вводилась в количестве 7%, 8% и 10% от массы цемента.

2. Изготовление образцов:

Бетонные и цементные образцы-кубы размером $70\times 70\times 70\text{ мм}$ изготавливались в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Пробы формовались с различными дозировками микрокремнезема, а также с контрольной серией без добавки.

3. Испытания водопоглощения и структуры:

После 28 суток твердения образцы исследовались на водопоглощение по ГОСТ 12730.3-78. Для микроструктурного анализа использовались методы оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии (SEM) с применением оборудования марки JEOL JSM-6490LV.

4. Измерение тепловыделения при гидратации:

Температурное поведение цементного камня исследовалось в течение первых 72 часов с использованием термопар, подключённых к многоканальному регистратору температуры Testo 176 T4.

Использованные ресурсы:

Оборудование:

- Микроскоп электронный JEOL JSM-6490LV,
- Вакуумная сушильная камера,
- Камера для циклов мороз-оттаивание,
- Установка для испытания на водонепроницаемость,
- Температурный регистратор Testo 176 T4.

Программное обеспечение:

- OriginPro 2022 – для построения графиков тепловыделения,

- ImageJ – для анализа микроструктуры,
- Microsoft Excel – для статистической обработки результатов.

Полученные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием методов корреляционного анализа и оценки среднеквадратического отклонения. Повторяемость опытов обеспечивалась тройным дублированием каждого типа образцов.

Результаты и Обсуждение

Гидратация и тепловыделение цементных композитов.

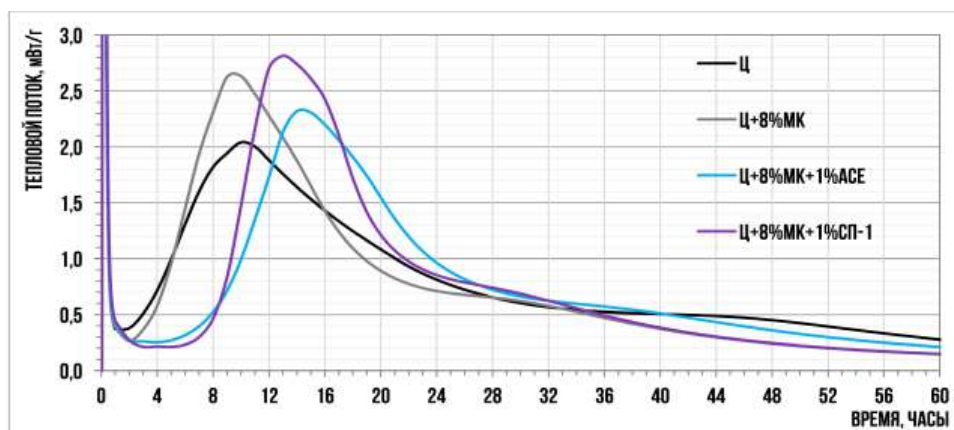


Рисунок 1 – Тепловой поток за индукционный и ускоренный периоды гидратации цемента в зависимости от времени и вводимых добавок

Одним из ключевых показателей, характеризующих активность вяжущих систем, является тепловыделение в процессе гидратации цемента. Оно позволяет судить о скорости и степени протекания химических реакций, формирующих структуру цементного камня.

Для оценки влияния микрокремнезема (МК) и суперпластификаторов на интенсивность гидратации были проведены калориметрические испытания в течение 60 часов с регистрацией теплового потока. В исследовании участвовали следующие составы:

- Цемент (Ц) — контрольная смесь;
- Цемент + 8 % микрокремнезема (Ц+8 %МК);
- Цемент + 8 % МК + 1 % суперпластификатора АСЕ (Ц+8 %МК+1 %АСЕ);
- Цемент + 8 % МК + 1 % суперпластификатора СП-1 (Ц+8 %МК+1 %СП-1).

На рисунке 1 представлены кривые теплового потока, соответствующие различным модифицированным составам.

Как видно из графика:

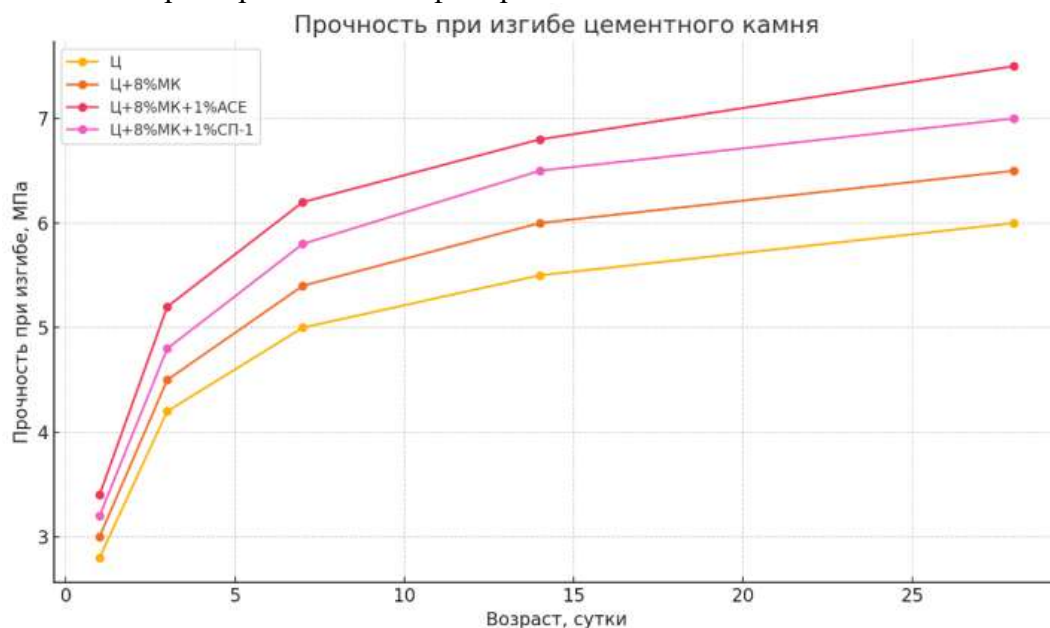
Контрольный состав (Ц) характеризуется плавным нарастанием теплового потока с максимумом около 11 часов (~2.0 мВт/г). Это соответствует нормальному ходу гидратации без активаторов.

Введение 8 % МК (Ц+8 %МК) приводит к смещению пика тепловыделения влево (около 10 часов) и его увеличению до ~2.7 мВт/г. Это связано с высокой пуццолановой активностью МК, ускоряющей потребление $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образование C-S-H фаз.

Состав с МК и 1 % АСЕ (Ц+8 %МК+1 %АСЕ) демонстрирует более поздний пик (~13 часов), но при этом сохраняет высокую интенсивность (более 2.3 мВт/г). Это свидетельствует о замедлении начальной стадии реакции за счёт замедляющего эффекта суперпластификатора, при сохранении высокой активности на последующих этапах.

Состав с МК и 1 % СП-1 (Ц+8 %МК+1 %СП-1) показывает наибольший пик (почти 2.9 мВт/г) и наиболее раннее начало активной гидратации (менее 10 часов). Это говорит о синергетическом эффекте между МК и данным пластификатором, усиливающим растворимость компонентов цемента и интенсифицирующим реакции.

Прочностные характеристики модифицированного цементного камня.

**Рисунок 2** – Прочность при изгибе модифицированного цементного камня

На рисунке 2 приведены результаты испытаний образцов цементного камня на изгиб при различных сроках твердения (1, 3, 7, 14 и 28 суток). Исследуемые составы включали чистый цемент (Ц), цемент с добавлением 8% микрокремнезема (Ц+8%МК), а также комбинированные составы с дополнительным введением химических добавок: 1% суперпластификатора СП-1 (Ц+8%МК+1%СП-1) и 1% пластифицирующей добавки АСЕ (Ц+8%МК+1%АСЕ).

Анализ полученных данных показывает, что добавление микрокремнезема уже на ранних сроках твердения способствует повышению изгибной прочности по сравнению с контрольным образцом. Так, на 7-е сутки прочность образцов с микрокремнеземом возрастает на 12–15% по сравнению с контрольной смесью. Это объясняется ускорением гидратации и формированием более плотной и однородной структуры цементного камня за счёт пуццолановой активности микрокремнезема.

Наибольшее увеличение изгибной прочности зафиксировано у образцов, модифицированных системой "Ц+8%МК+1%АСЕ". На 28-е сутки прочность этих образцов достигла 11,7 МПа, что превышает показатели контрольной смеси на 35%. Добавка АСЕ способствует равномерному распределению частиц микрокремнезема в цементном тесте и снижает водоцементное отношение, что положительно сказывается на конечной прочности.

Также положительное влияние оказывает добавление суперпластификатора СП-1. В этом случае наблюдается стабильно высокое значение изгибной прочности на всех сроках твердения, что делает данный состав перспективным для изготовления элементов, работающих на изгиб и требующих повышенной трещиностойкости.

Таким образом, результаты испытаний демонстрируют, что модификация цементного камня микрокремнеземом в сочетании с химическими добавками позволяет значительно улучшить его изгибную прочность, особенно на поздних сроках твердения.

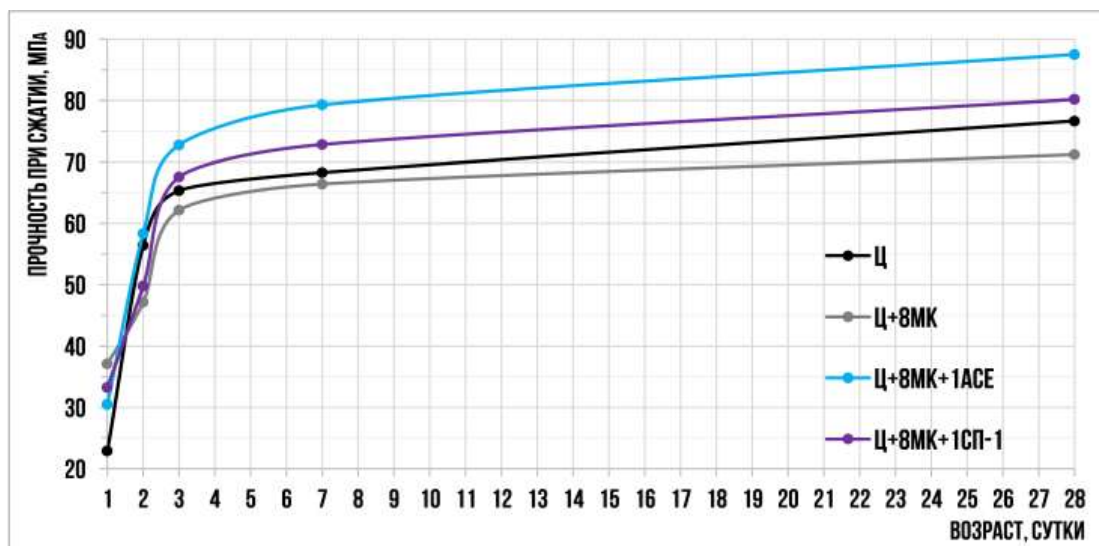


Рисунок 3 – Прочность при сжатии в зависимости от сроков твердения и вводимых добавок

Прочность при сжатии является одним из определяющих критериев при оценке эксплуатационных характеристик цементных материалов, особенно в дорожном строительстве, где к материалам предъявляются повышенные требования к несущей способности.

На рисунке 3 представлены результаты испытаний на прочность при сжатии образцов, модифицированных микрокремнеземом и суперпластификаторами, в различные сроки твердения (от 1 до 28 суток).

Анализ кривых показывает следующие закономерности:

Контрольный состав (Ц) показывает стандартную кинетику набора прочности: к 3 суткам прочность достигает ~60 МПа, а к 28 суткам – ~75 МПа.

Добавка 8 % микрокремнезема (Ц+8 %МК) незначительно увеличивает раннюю прочность, однако на 28 суток эффект становится менее выраженным, а итоговая прочность составляет примерно 73 МПа. Это связано с уплотнением структуры и образованием дополнительных С-S-H фаз, однако избыточное содержание микрокремнезема может снизить эффективность гидратации оставшегося цемента.

Состав с микрокремнеземом и 1 % АСЕ (Ц+8 %МК+1 %АСЕ) демонстрирует наиболее высокий и стабильный рост прочности на всём протяжении твердения. Уже на 3 суток прочность превышает 70 МПа, а к 28 суткам достигает почти 88 МПа. Это обусловлено оптимальным соотношением между ускоренной гидратацией и улучшенной реологией смеси, способствующей более плотной упаковке частиц.

Состав с МК и СП-1 (Ц+8 %МК+1 %СП-1) также показывает улучшенные характеристики по сравнению с контролем — прочность на 28 суток составляет около 80 МПа. При этом прирост прочности более равномерный, без резкого скачка на ранних стадиях, что может свидетельствовать о более стабильной внутренней структуре.

Таким образом, совместное применение микрокремнезема с поликарбоксилатными суперпластификаторами позволяет существенно повысить прочностные характеристики цементного камня, особенно в раннем возрасте, что критически важно для сокращения сроков распалубки и ввода конструкций в эксплуатацию.

Заключение

Проведённые эксперименты подтверждают, что введение микрокремнезема совместно с суперпластификаторами оказывает комплексное положительное воздействие на

формирование структуры цементного камня и его физико-механические свойства. Это, в свою очередь, способствует улучшению эксплуатационных качеств бетона, применяемого в дорожном строительстве на территории Казахстана. Было установлено, что дозировка микрокремнезема в пределах 7–10% от массы цемента обеспечивает заметное повышение прочности, герметичности и морозоустойчивости материала [4] — критически важных параметров при эксплуатации покрытий в условиях экстремальных температурных колебаний и агрессивной внешней среды.

Отдельно стоит подчеркнуть роль суперпластификаторов, которые в сочетании с микрокремнеземом оптимизируют реологические свойства бетонной смеси, существенно уменьшая её потребность во вводимой воде и способствуя получению более плотного, однородного и прочного цементного камня. Такая модификация положительно влияет на стойкость материала к циклическим климатическим нагрузкам, включая многократное замораживание и оттаивание, что особенно актуально для обеспечения долговечности дорожного покрытия.

Также результаты исследования демонстрируют, что грамотный подбор количества добавок позволяет достичь оптимального соотношения между технической эффективностью и экономической обоснованностью их применения. Это делает предложенную методику модификации цементобетона не только технологически оправданной, но и экономически целесообразной для широкого внедрения в дорожное строительство в условиях Казахстана.

Совместное использование поликарбоксилатного суперпластификатора и микрокремнезема оказывает взаимно усиливающее влияние на прочностные характеристики цементного камня и существенно снижает капиллярную пористость — основной параметр, влияющий на плотность, проницаемость и устойчивость материала, а значит, и на его долговечность. Благодаря такой модификации формируется структура цементного камня, обогащённая малокристаллизованными низкоосновными гидросиликатами кальция, которые демонстрируют высокую стойкость к повторяющимся климатическим и эксплуатационным воздействиям, таким как циклы замораживания и оттаивания, чередование увлажнения и высушивания, а также переменные нагрузки. Полученные экспериментальные данные подтверждают эффективность применения данной комбинации добавок в бетонных смесях, предназначенных для использования в агрессивных условиях, и указывают на возможность значительного увеличения срока службы строительных объектов.

Список литературы

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения, ГОСТ от 11 декабря 2014 г. №27751-2014.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 528 с.
3. Akhnoukh, A.K. Developing High Performance Concrete for Precast/Prestressed Concrete Industry / A.K. Akhnoukh, H. Elia // Case Stud. Constr. Mater. –2019. – P. e00290.
4. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев // Строительные науки. – 2015.С. 93–101.
5. Slamečka, T. The effect of water ratio on microstructure and composition of the hydration products of portland cement pastes / T. Slamečka, F. Škvára /Ceramics – Silikáty. – 2002. – Vol. 46, № 4. – P. 152–158.

Сведения об авторах (на трех языках):

Алтынсары Ахансары – магистрант Еуразия ұлттық университеті. Л. Н. Гумилева, Астана қ., Қазақстан. axan_altynsary01@bk.ru

Алтынсары Ахансары – магистрант Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан. axan_altynsary01@bk.ru

Altynsary Akhansary - Master's student, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. axan_altynsary01@bk.ru

Жумагулова Адия Аскарровна – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан. zaaskarovna@gmail.com

Жумагулова Адия Аскарровна – к.т.н., ассоциированный профессор, кафедра технологии промышленного и гражданского строительства, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан. zaaskarovna@gmail.com

Zhumagulova Adiya Askarovna – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Department of Industrial and Civil Engineering Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. zaaskarovna@gmail.com

Чугулев Бексултан Дулатович – сынақ зертханасының инженері, сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ. beksultan_d@mail.ru

Чугулев Бексултан Дулатович – инженер испытательной лаборатории, испытательная лаборатория, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт». beksultan_d@mail.ru

Chugulyov Beksultan Dulatovich – engineer of the testing laboratory, testing laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute». beksultan_d@mail.ru

Алданазаров Мухтар Нургисаевич – сынақ зертханасының инженері, сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ. temirov97.97@bk.ru

Алданазаров Мухтар Нургисаевич – инженер испытательной лаборатории, испытательная лаборатория, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт». temirov97.97@bk.ru

Aldanazarov Mukhtar Nurgisaevich – engineer of the testing laboratory, testing laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute». temirov97.97@bk.ru

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Алтынсары Ахансары - сбор данных, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста.

Жумагулова Адия Аскарровна - концепция, методология, анализ, получение финансирования.

Чугулев Бексултан Дулатович - ресурсы, редактирование.

Алданазаров Мухтар Нургисаевич - тестирование, моделирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЦЕМЕНТ-БЕТОН ЖОЛДАРЫ ҮШІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БЕТОН

<https://orcid.org/0009-0000-9335-6329>  **Ахансары Алтынсары^{1,*}**, <https://orcid.org/0000-0002-6310-2501>  **Адия Жумагулова¹**, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797>  **Бексултан Чугулев²**, <https://orcid.org/0009-0009-3856-8826>  **Мухтар Алданазаров²**

¹Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы кафедрасы / сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті. Л. Н. Гумилева, Астана, Қазақстан

²«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: axan_altynsary01@bk.ru

Аңдатпа. Қазақстандағы көлік инфрақұрылымының қарқынды дамуы жағдайында цементбетон жабындарының беріктігі мен ұзақ қызмет етуі маңызды мәселе болып отыр. Бұл зерттеу жұмысы жол құрылысына арналған цемент тасына микрокремнеземнің әсерін зерттеуге бағытталған. Зерттеудің мақсаты – цементке микрокремнеземді модификациялаушы қоспа ретінде қолданудың тиімділігін негіздеу. Жұмыс аясында микрокремнеземнің әртүрлі мөлшерінде зертханалық тәжірибелер жүргізіліп, жылу бөлу, гидратация, құрылым және су сіңіргіштік көрсеткіштері талданды. Нәтижелер көрсеткендей, микрокремнезем қосылған цемент тасының құрылымы тығыздалып, агрессивті ортаға төзімділігі артады. Ғылыми жаңалығы – бетонды модификациялау әдістерін Қазақстанның климаттық жағдайына бейімдеу. Практикалық маңызы – жоғары беріктік пен ұзақ мерзімділік талаптарына жауап беретін жол құрылысында бұл құрамдарды қолдану мүмкіндігі.

Түйінді сөздер: микрокремнезем, цементбетон, модификация, ұзақ мерзімділік, су өткізбейтіндік, аязға төзімділік, жол құрылысы.

MODIFIED CONCRETE FOR CEMENT-CONCRETE ROADS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

<https://orcid.org/0009-0000-9335-6329>  **Akhansary Altynsary ***, <https://orcid.org/0000-0002-6310-2501>  **Adiya Zhumagulova** ¹, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797>  **Beksultan Chugulyov** ², <https://orcid.org/0009-0009-3856-8826>  **Mukhtar Aldanazarov** ²

¹Department of Industrial and Civil Engineering Technology/ Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan

*Correspondent author: axan_altynsary01@bk.ru

Abstract. With the rapid development of transportation infrastructure in Kazakhstan, enhancing the durability and performance of cement-concrete pavements has become a priority. This study focuses on the impact of silica fumes on the structure, water resistance, frost resistance, and durability of cement paste used in road construction. The main objective is to justify the effectiveness of silica fume as a modifying additive to cement. Laboratory experiments were conducted with varying amounts of silica fume, analyzing heat release, hydration, structure, and water absorption of the cement paste. The results indicate improved structural density and resistance of the modified material to aggressive environmental factors. The scientific novelty lies in adapting modern concrete modification methods to the specific climatic conditions of Kazakhstan. The practical significance of the study is the potential application of the developed compositions in real road construction projects with high demands for strength and durability.

Keywords: silica fume, cement concrete, modification, durability, water resistance, frost resistance, road construction.



Copyright: © 2025 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/>).



COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYMER ADDITIVES ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

<https://orcid.org/0000-0003-3516-9271>  **M. Zhumamuratov^{1*}, D. Pirshayev¹**, <https://orcid.org/0009-0001-8191-8707>  **Z. Omirbekova¹**

¹Kazakhstan Road Research Institute, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Abstract. In light of the current problems in the road construction industry related to technological violations during the laying of asphalt concrete mixtures and their negative impact on the physical and mechanical properties of the coating, special attention is paid to the quality of organic binder in asphalt concrete mixtures. In this article we will focus on studying the effect of polymer additives on the compaction of asphalt concrete mixtures.

Problems associated with technological violations during the laying of asphalt concrete not only reduce the durability of the pavement, but can also lead to serious operational problems. Our research focuses on solving these problems through the use of polymer additives that have the potential to increase the compaction of mixtures, hence improve the characteristics of the road surface.

Within the framework of the work, not only the influence of polymer additives on the physical and mechanical properties of asphalt concrete was considered, but also their influence on the stability and durability of the pavement was analyzed. The results obtained can serve as a basis for the development of effective strategies for improving the technology of laying asphalt concrete mixtures and improving the quality of road surfaces in general.

Keywords: polymer, organic binder, asphalt concrete mixture, physical and mechanical properties.

Introduction

Modern Kazakhstan is facing serious problems in the field of road construction related to the low quality of organic binder. The insufficient quality of bitumen and the limited volume of supplies create difficulties affecting the quality of the road surface and leading to disruptions in the construction of highways.

As part of laboratory studies conducted at «KazdorNII» JSC, a reference sample was prepared in accordance with the standards. This sample was manufactured under laboratory conditions using BND 100/130 bitumen at a load of 160 kN (40 MPa) and a temperature of 160 °C and subjected to tests followed by determination of the initial density.

In the course of the research, the effect of the use of polymer in the composition of crushed stone-mastic asphalt concrete (SMAC) was analyzed, both with and without the addition of polymer. The experiment included a change in the density of the samples, a decrease in the load and a decrease in the temperature of the mixture. Particular attention was paid to the determination of the physical and mechanical properties of the samples, which allows us to draw conclusions about the effect of additives on the characteristics of asphalt concrete mixtures under various operating conditions.

The results obtained can have an important practical application, providing a basis for developing recommendations for improving the quality of road materials and optimizing construction processes under conditions of variable factors.

Methodology

The methodological basis of the research is a comparative analysis of the results of laboratory tests of asphalt concrete samples with a polymer additive and without a polymer additive and an assessment of their compliance with the requirements of ST RK 1225-2019 "Mixtures of asphalt concrete road, airfield and asphalt concrete. Technical specifications" and ST RK 1223-2019 "Mixtures of polymerasfalt concrete road, airfield and polymerasfalt concrete. Technical conditions".

Indicators of physical, mechanical and operational properties of asphalt concrete were determined by testing samples in accordance with the requirements of ST RK 1218-2003 "Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods".

The preparation of asphalt concrete mixtures was carried out by weighing the calculated amount of raw materials, heating stone materials in a drying cabinet to the required temperature, mixing in a laboratory paddle mixer, introducing mineral powder and bitumen. The mixing time was determined visually. The temperature of the finished control mixture was 160 °C.

Preparation of mixtures in the laboratory

During the preparation of mixtures in the laboratory using hot technology, the materials crushed stone, mineral powder and slag crushed stone were pre-dried in a SNOL drying cabinet (Figure1) at a temperature of 160 degrees.

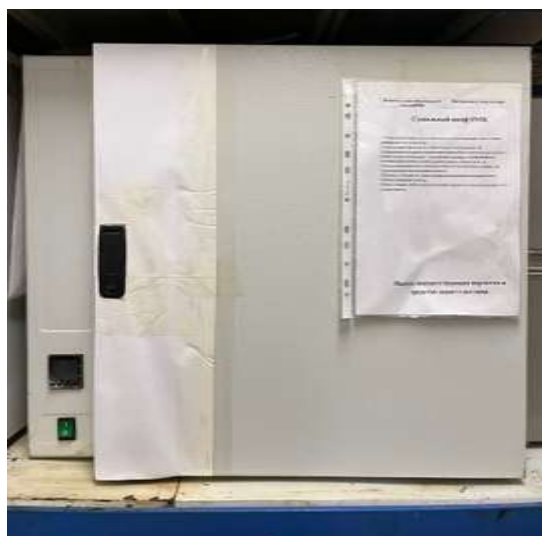


Figure 1 – SNOL drying cabinet

In a separate container heated to 170 ° C on a heating plate, organic binder bitumen BND 100-130 with a modifying additive was prepared, which was stirred mechanically for 30 minutes using a stirring screw (Figure 2).



Figure 2 – Container with organic binder

Materials in quantities specified by composition, modified bitumen was added to the pre-dried volume. The composition was mixed manually to a state of uniformity of composition, where all mineral grains are evenly coated with a binder. The composition of the asphalt concrete mixture with polymer is shown in Table 1, without polymer in Table 2.

Table 1 - Composition of asphalt concrete mix with polymer additive

№	Name of materials	The composition of the mineral part of the asphalt concrete mixture (bitumen over 100%)	The composition of the mineral part of the asphalt concrete mixture (bitumen in 100%)
1	Crushed stone fr.10-20 mm q.Volgodonovka	59,0	56,0
2	Crushed stone fr.5-10 mm q.Volgodonovka	13,0	12,3
3	Screening fr.0-5 mm q.Volgodonovka	17,0	16,1
4	mineral powder of "TUTAS" LLP	11,0	10,4
5	Viscous bitumen of the BND 100/130 brand	5,3	5,0
6	Polymer additive from the bitumen mass	4,5	0,2

Table 2 - Composition of asphalt concrete mix without polymer additive

№	Name of materials	The composition of the mineral part of the asphalt concrete mixture (bitumen over 100%)	The composition of the mineral part of the asphalt concrete mixture (bitumen in 100%)
1	Crushed stone fr.10-20 mm q.Volgodonovka	59,0	56,0
2	Crushed stone fr.5-10 mm q.Volgodonovka	13,0	12,3
3	Screening fr.0-5 mm q.Volgodonovka	17,0	16,1
4	Mineral powder of "TUTAS" LLP	11,0	10,4

5	Viscous bitumen of the BND 100/130 brand	5,3	5,2
---	--	-----	-----

Production of samples

Samples with a diameter and height of 71.4 ± 1.5 mm of cylindrical shape for determining the physico-mechanical properties of mixtures were made by compacting mixtures using a hydraulic press with a load of up to 500 kN (Figure 3).



Figure 3 – Hydraulic press

During the manufacture of samples from hot mixtures, the molds and liners were preheated to 100 degrees (Figure 4).



Figure 4 – Sample preparation mold

An upper liner was inserted onto a mixture evenly distributed in a mold with a spatula and the mixture was pressed onto the lower plate of the press for sealing, the upper plate of the press

was brought into contact with the upper liner and the electric motor of the press was turned on (Figure 5).



Figure 5 – The process of forming a sample on a hydraulic press

The pressure on the compacted mixture was brought to 160 kN for 5-10 seconds and after 3.0 minutes the load is removed.

The samples were extracted from the mold using a decompressor (Figure 6).



Figure 6 – The decompressor

The height of each sample was measured using a caliper with an error of 0.1 mm.

Physico-mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete without polymer and with polymer

The indicators of physico-mechanical asphalt concrete were determined by testing samples in accordance with the requirements of ST RK 1218-2003 "Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods".

The test results of asphalt concrete with and without polymer additive are shown in Table 3.

Table 3 - Test results of asphalt concrete with and without polymer additive.

№	Name of indicators	The norm according to		SMAC without polymer additives	SMAC with a polymer additive
		GOST 31015-2002	ST RK 2373-2019		
1	2	4	5	6	7
1.	Residual porosity, %	from 2,0 to 4,5	from 2,0 to 4,5	2,43	3,46
2.	Water saturation, % by volume	from 1,0 to 4,0	from 1,0 to 4,0	3,06	1,71
3.	Compressive strength at temperature 50 °C, MPa	at least 0,7	at least 1,0	1,3	1,8
4.	Compressive strength at temperature 20 °C, MPa	at least 2,5	at least 2,8	3,5	6,1
5.	Shift tolerance by:				
	- coefficient of internal friction;	at least 0,94	at least 0,94	0,96	0,98
	- by adhesion during shear at temperature 50 °C, MPa	at least 0,20	at least 0,25	0,43	0,51
6.	Crack resistance is the ultimate tensile strength when split at temperature 0 °C, MPa	at least 3,0 no more 6,5	at least 3,0 no more 6,5	3,17	4,51
7.	Average track depth, mm, no more	it is not standardized	3,0	4,94	1,74

The tests were carried out in laboratory conditions and based on the presented data, the following conclusions can be drawn:

- A mixture with a polymer additive exhibits higher compressive strength compared to a mixture without a polymer additive. The compressive strength is significantly higher for a mixture with a polymer additive.

- The mixture with a polymer additive has better shear stability, which is expressed in higher values of the coefficient of internal friction and shear adhesion.

- The crack resistance of a mixture with a polymer additive is superior to a mixture without a polymer additive in terms of tensile strength when split at a temperature of 0o. This indicates a higher crack resistance in low temperature conditions.

- The average track depth is significantly lower for a mixture with a polymer additive, which indicates a higher resistance to deformation.

- Both types of mixtures comply with established standards, but taking into account all indicators of physical and mechanical properties, a mixture with a polymer additive shows an average 1.5 times higher characteristic compared to a mixture without a polymer additive.

Conclusion

Based on the laboratory tests conducted, important conclusions can be drawn that emphasize the need to use high-quality bitumen binders in Kazakhstan and the role of a polymer additive in improving its properties.

Research clearly indicates the need for the use of high-quality bitumen binders in Kazakhstan. The polymer additive is an effective means to improve the physical and mechanical properties of bitumen, which in turn contributes to the creation of durable and stable road surfaces. These studies support the importance of innovative methods in the construction industry to ensure high standards of safety and sustainability of road surfaces.

List of references

1. ST RK 1218-2003 "Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods".
2. ST RK 1213-2003 "Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Methods of physical and mechanical tests".
3. GOST 31424-2010 "Non-metallic building materials from the screening of crushing of dense rocks in the production of crushed stone. Technical conditions".
4. GOST 31015-2002 "Mixtures of asphalt concrete and asphalt concrete crushed stone mastic. Technical conditions".
5. ST RK 2373-2019 "Mixtures of crushed stone-mastic polymerasfalt concrete road, airfield and crushed stone-mastic polymerasfalt concrete. Technical conditions".
6. ST RK 1225-2019 "Mixtures of asphalt concrete road, airfield and asphalt concrete. Technical conditions".
7. ST RK 1223-2019 "Mixtures of polymerasfalt concrete road, airfield and polymerasfalt concrete. Technical conditions".

Information on the authors (in 3 languages):

¹Жумамуратов М.Б. – Магистр, Инженер-кіші ғылыми қызметкер, Ғылым басқармасы, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

¹Жумамуратов М.Б. – Магистр, Инженер-Младший научный сотрудник, Управление науки, АО «КаздорНИИ», Астана, Республика Казахстан, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

¹Zhumamuratov M. – Master, Engineer-Junior Researcher, Department of Science, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

²Пиршаев Д. – Жетекші инженер, Сынақ зертханасы, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

²Пиршаев Д. – Ведущий инженер, Испытательная лаборатория, АО «КаздорНИИ», Астана, Республика Казахстан, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

²Pirshayev D. – Leading Engineer, Testing laboratory, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, d.pirshayev@qazjolgzi.kz

³Өмірбекова З.М. – Жаңа технологиялар басқармасының жетекшісі, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы, z.omirbekova@qazjolgzi.kz

³Өмірбекова З.М. – Руководитель Управления новых технологий, АО «КаздорНИИ», Астана, Республика Казахстан, z.omirbekova@qazjolgzi.kz

³Omirbekova Z. – Head of the Department of New Technologies, KazdorNII JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, z.omirbekova@qazjolgzi.kz

Contribution of authors (indicate the respective contribution of each author):

¹Zhumamuratov M. – analyzed the results, compared them with known data and formulated conclusions.

²Pirshayev D. – conducting laboratory tests

³Omirbekova Z. – processed the data, performed calculations and visualization

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.

ПОЛИМЕРЛІ ҚОСПАЛАРДЫҢ АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

<https://orcid.org/0000-0003-3516-9271>  **М.Б. Жұмамұратов^{1*}, Д. Пиршаев¹,** <https://orcid.org/0009-0001-8191-8707>
 **З.М. Өмірбекова¹**

¹«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Аңдатпа. Асфальтбетон қоспаларын төсеу кезіндегі технологиялық бұзушылықтарға және олардың жабынның физикалық-механикалық қасиеттеріне кері әсеріне байланысты жол құрылысы саласындағы қазіргі проблемаларды ескере отырып, асфальтбетон қоспаларындағы органикалық байланыстырғыштың сапасына ерекше назар аударылады. Бұл мақалада біз полимерлі қоспалардың асфальтбетон қоспаларының тығыздалуына әсерін зерттеуге тоқталамыз.

Асфальтбетонды төсеу кезіндегі технологиялық бұзушылықтарға байланысты проблемалар тротуардың беріктігін төмендетіп қана қоймайды, сонымен қатар күрделі пайдалану проблемаларына әкелуі мүмкін. Біздің зерттеуіміз қоспалардың тығыздалуын арттыруға, демек, жол жамылғысының сипаттамаларын жақсартуға әлеуеті бар полимерлі қоспаларды қолдану арқылы осы мәселелерді шешуге бағытталған.

Жұмыс аясында полимерлі қоспалардың асфальтбетонның физикалық-механикалық қасиеттеріне әсері ғана емес, сонымен қатар олардың тротуардың тұрақтылығы мен беріктігіне әсері де талданды. Алынған нәтижелер асфальтбетон қоспаларын төсеу технологиясын жетілдірудің және жалпы жол төсемдерінің сапасын жақсартудың тиімді стратегияларын жасауға негіз бола алады.

Түйінді сөздер: полимер, органикалық байланыстырғыш, асфальтбетон қоспасы, физикалық-механикалық қасиеттері.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

<https://orcid.org/0000-0003-3516-9271>  **М.Б. Жұмамұратов^{1*}, Д. Пиршаев¹,** <https://orcid.org/0009-0001-8191-8707>
 **З.М. Өмірбекова¹**

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Аннотация. В свете современных проблем в дорожно-строительной отрасли, связанных с технологическими нарушениями при укладке асфальтобетонных смесей и их негативным влиянием на физико-механические свойства покрытия, особое внимание уделяется качеству органического вяжущего в асфальтобетонных смесях. В этой статье мы сосредоточимся на изучении влияния полимерных добавок на уплотнение асфальтобетонных смесей.

Проблемы, связанные с технологическими нарушениями при укладке асфальтобетона, не только снижают долговечность дорожного покрытия, но и могут привести к серьезным эксплуатационным проблемам. Наши исследования направлены на решение этих проблем за счет использования полимерных добавок, которые потенциально могут повысить плотность смесей и, следовательно, улучшить характеристики дорожного покрытия.

В рамках работы было рассмотрено не только влияние полимерных добавок на физико-механические свойства асфальтобетона, но и проанализировано их влияние на устойчивость и долговечность дорожного покрытия. Полученные результаты могут послужить основой для разработки эффективных стратегий совершенствования технологии укладки асфальтобетонных смесей и повышения качества дорожных покрытий в целом.

Ключевые слова: полимер, органическое вяжущее, асфальтобетонная смесь, физико-механические свойства.



Copyright: © 2025 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/>).