QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӨЛІК МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ



QAZAQ HIGHWAY
SCIENCE AND INNOVATION

«ҚазжолҒЗИ» АҚ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АО «КаздорНИИ»

QAZAQ HIGHWAY SCIENCE AND INNOVATION

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

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – *кандидат технических наук, директор R&D центра АО «КаздорНИИ»*

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
Амирбаев Ерик Дихамбаевич – *Вице-президент АО «КаздорНИИ»*
Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – *кандидат технических наук, директор R&D центра АО «КаздорНИИ»*
Ашимова Салтанат Жандарбековна – *доктор PhD, руководитель отдела ДСМиНТ Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы*
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 Бахтияруллы – *младший научный сотрудник R&D центра АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь*
Смагулова Мария Кусаиновна – *младший научный сотрудник R&D центра АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь*

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

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *Д. Молдабаев, С. Есенгабулов*
ЖЕРГІЛІКТІ ТОПЫРАҚТЫ ӘРТҮРЛІ ТҰТҚЫР МАТЕРИАЛДАРМЕН НЫҒАЙТУ ЖӘНЕ ЦЕМЕНТ-КҮЛ ҚҰРАМЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ 4
2. *A. Nugmanova, C. Rongji*
FINITE ELEMENT PERFORMANCE EVALUATION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS WITH BASIC OXYGEN FURNACE SLAG AS A COARSE AGGREGATE REPLACEMENT 17
3. *К. Шалкар, И. Мурованный, А. Шалкаров*
РАЗРУШЕНИЕ ПОДХОДОВ К МОСТОВЫМ СООРУЖЕНИЯМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЕСЕННИХ ПАВОДКОВЫХ ВОД 27
4. *К. Лоновенко, А. Нугманова*
ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРАКТНЫХ МОДЕЛЕЙ FIDIC В ДОРОЖНЫХ ПРОЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИКИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ 37
5. *О. Михайлова, В. Ядыкина, В. Волков*
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОСКОВЫХ МОДИФИКАТОРОВ В СОСТАВЕ ЛИТЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ 51
6. *Л. Гвелесиани, С. Парфёнов*
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И МОСТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА «СУХОГО ВВОДА» ПРИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРАМИ 66

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

ЖЕРГІЛІКТІ ТОПЫРАҚТЫ ӘРТҮРЛІ ТҰТҚЫР МАТЕРИАЛДАРМЕН НЫҒАЙТУ ЖӘНЕ ЦЕМЕНТ-КҮЛ ҚҰРАМЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Молдабаев Дінмұхаммед[1,*], Есенгабулов Серікболат[1]

[1]«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[*]Корреспондент автор: moldabayevvv1@gmail.com

Аңдатпа. Жол негіздерінде жергілікті топырақтарды пайдалану тұтқыр материалды ғылыми негізде таңдауды талап етеді, өйткені нығайтудың тиімділігі топырақтың қасиеттеріне, тұтқырдың түрі мен мөлшеріне, ылғалдылыққа және қатаю жағдайларына байланысты. Зерттеудің мақсаты - жергілікті топырақты битуммен, әкпен және цементпен нығайтудың тиімділігін салыстырмалы түрде бағалау, неғұрлым тиімді тұтқырды анықтау және цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы оның шығынын азайту мүмкіндігін бағалау. Зерттеуде 5, 8 және 10% сөндірілмеген әк, сондай-ақ 8, 10 және 12% цемент қолданылған құрамдар қарастырылды. Үлгілердің сығу кезіндегі беріктік шегі мен көлемдік тығыздығы 7 және 28 тәулікте анықталды. БНД 70/100 битумын қолданған кезде қабылданған ыстық араластыру технологиясында біртекті қоспа алу мүмкін болмады. Негізгі тұтқырлар арасында ең жоғары беріктік 12% цементті құрамда алынды: 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Осы құрам кейінгі цемент-күл оңтайландыруы үшін бастапқы нұсқа ретінде қабылданды. Нәтижелер бойынша 10% цемент пен 2% ЖЭО күлі бар құрам ең перспективті болды: оның беріктігі тиісінше 10,707 және 17,840 МПа құрады. Алынған нәтижелер жоғары беріктік деңгейін сақтай отырып цемент шығынын азайтудың практикалық мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: топырақты нығайту, жол негізі, цемент, сөндірілмеген әк, ЖЭО күлі, сығу кезіндегі беріктік шегі, оңтайландыру.

Кіріспе

Жол негіздерінің конструкцияларында жергілікті топырақтарды пайдалану әлсіз материалдарды алмастыру көлемін азайтуға, тас материалдарын тасымалдау қашықтығын қысқартуға және жер жұмыстарына жұмсалатын шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар табиғи құмдақтар мен саздақтар көбіне ылғалдануға жоғары сезімталдықпен, жеткіліксіз көтергіштік қабілетімен және маусымдық мұздау кезінде пайдалану қасиеттерінің төмендеуімен сипатталады. Осыған байланысты жергілікті топырақтарды тұтқыр материалдармен нығайту олардың беріктігін және жол конструкцияларында қолдануға жарамдылығын арттырудың тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады. Мұндай нығайтудың тиімділігі тұтқырдың түрі мен мөлшеріне ғана емес, бастапқы топырақтың қасиеттеріне, ылғалдылыққа, тығыздалу дәрежесіне, қалыптау жағдайларына және қатаю мерзіміне де байланысты [1]. Қазіргі зерттеулерде топырақты нығайту үшін портландцемент, әк, кешенді минералдық және органикалық тұтқырлар қолданылады.

Цемент, әдетте, беріктіктің айқын өсуін қамтамасыз етеді, алайда оның мөлшері мен алынатын әсер арасындағы тәуелділік әрдайым сызықтық сипатта болмайды.

Жекелеген зерттеулерде белгілі бір деңгейден кейін цемент мөлшерін арттыру беріктіктің соған сәйкес өсуіне әкелмеген [1], [2]. Kired және т.б. әртүрлі топырақ түрлерін зерттеу барысында гидравликалық тұтқыр мөлшері артқан сайын беріктік пен көтергіштік қабілетінің жалпы өсетінін анықтағанымен, әсер шамасының бастапқы топырақ қасиеттеріне едәуір тәуелді екенін көрсетті [3].

Әк топыраққа өзгеше әсер етеді: оны қолдану илемділікке, оңтайлы ылғалдылыққа, тығыздалу қабілетіне және кейінгі беріктік жинау сипатына ықпал етуі мүмкін. Бұл ретте әкпен нығайтудың тиімділігі топырақтың құрамы мен қасиеттеріне айтарлықтай тәуелді, ал беріктіктің қалыптасуы цементті жүйелермен салыстырғанда баяуырақ жүруі мүмкін [4], [5]. Өңірлік зерттеулердің нәтижелері де бірдей тұрақтандыру жүйелерінің шығу тегі әртүрлі топырақтарға әрқалай әсер ететінін көрсетеді. Батыс Қазақстанның төрт өңірінің топырақтарын зерттеу бастапқы материал сипаттамаларына байланысты қол жеткізілген беріктік мәндерінің елеулі айырмашылығын көрсетті, бұл дайын құрамдарды бір өңірден екіншісіне тікелей көшіру мүмкіндігін шектейді [7].

Әдеби деректерді талдау ұтымды құрамды анықтау тәсілдерінің де әртүрлі екенін көрсетеді. Кейбір зерттеулерде негізгі критерий ретінде максималды беріктік қабылданса, басқаларында талап етілетін қасиеттерге тұтқырдың ең аз шығынымен қол жеткізу басымдыққа ие. Сондықтан тиімді құрамды таңдау кезінде беріктіктің абсолюттік мәнімен қатар, нақты топырақ жағдайындағы тұтқырды пайдалану тиімділігі де ескерілуі тиіс. Бұл мәселе Қазақстан жағдайында ерекше өзекті, себебі топырақтардың өңірлік әркелкілігі мен шұғыл континенттік климат таңдалған шешімдерді тәжірибелік тексеруді талап етеді.

Оңтайландырудың қосымша бағыты ретінде минералдық компоненттерді пайдалану арқылы портландцемент шығынын азайту қарастырылады. Кешенді минералдық тұтқырларды зерттеу нәтижелері нығайтылған топырақтың қасиеттері тұтқырдың жалпы мөлшеріне ғана емес, оның құрамдастарының арақатынасына да тәуелді екенін көрсетеді [6]. Қарастырылған еңбектерде нығайтылған топырақ жүйелерінде күл-қож материалдарын қолдану мүмкіндігі де зерттелген [2], бұл цемент шығынын азайту кезінде техногендік минералдық ресурстарды пайдалану мүмкіндігін бағалаудың өзектілігін көрсетеді.

Осылайша, қолданыстағы зерттеулер әртүрлі тұтқырлардың тиімділігін растайды, алайда жергілікті топырақ үшін ұтымды құрамды тікелей анықтауға мүмкіндік бермейді және тәжірибелік тексеруді қажет етеді. Белгілі бір топырақ үшін алдымен бірнеше тұтқырдың тиімділігін салыстырып, содан кейін ең нәтижелі жүйеде цементтің бір бөлігін жергілікті минералдық компонентпен алмастыру арқылы оңтайландыруға бағытталған жүйелі тәсіл жеткіліксіз зерттелген.

Зерттеудің мақсаты - жергілікті топырақты нығайту кезінде әртүрлі тұтқырлардың тиімділігін салыстырмалы бағалау, ең тиімді тұтқырды анықтау және беріктіктің барынша жоғары деңгейін сақтай отырып, цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы оның шығынын оңтайландыру.

Әдістеме

Тәжірибелік зерттеу жергілікті топырақты нығайту мақсатында әртүрлі тұтқыр материалдардың тиімділігін салыстырмалы түрде бағалауға және ЖЭО күлін қолдану арқылы цемент шығынын оңтайландыруға бағытталған. Негізгі факторлар тұтқыр материалдың түрі мен құрамы болып табылады, ал цемент-күл қосылыстары үшін – минералды компоненттің тұрақты жиынтық құрамындағы цемент пен күлдің қатынасы. Нәтижелердің салыстырмалы болуын қамтамасыз ету үшін ылғалдылық, үлгілердің геометриясы, қалыптау режимі және сақталу шарттары тұрақты болды. Зерттеу үш кезеңнен тұрады: топырақ пен қолданылатын материалдардың сипаттамасы, цемент, әктас және битум арқылы топырақты нығайтуды салыстырмалы түрде зерттеу, ЖЭО күлін пайдалана отырып цемент шығынын азайту.

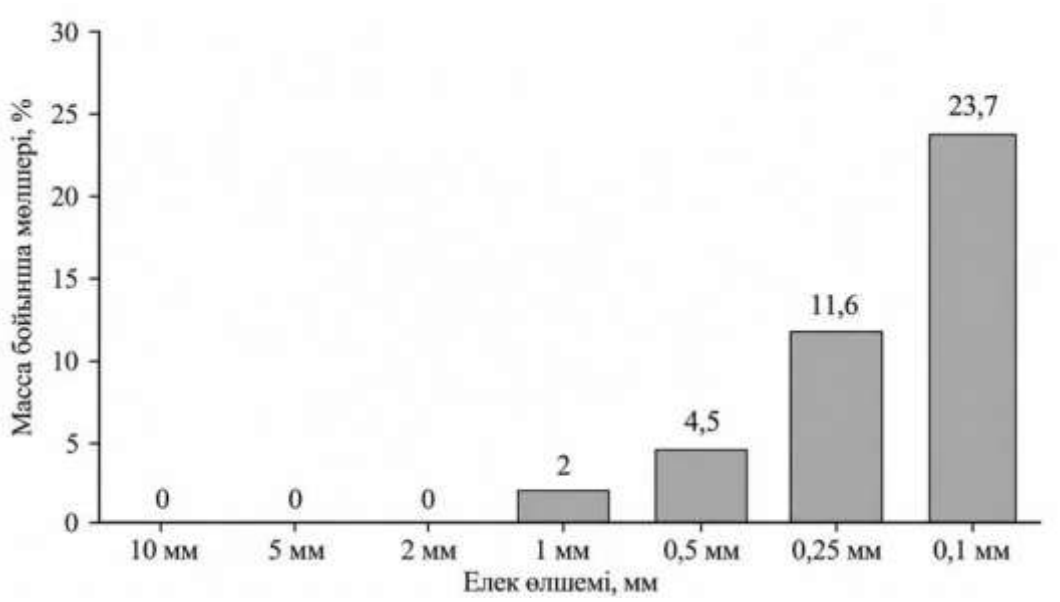
Минералды негіз ретінде Астана қаласының аумағындағы қазаншұңқырдан алынған жергілікті топырақ пайдаланылды.

Бастапқы бақылау кешені топырақтың түйіршіктік құрамын, ылғалдылығын, максималды тығыздығын, оңтайлы ылғалдылығын,аққыштық және созылымдық шектерін анықтауды қамтыды.

Топырақтың түрі ГОСТ 25100-2020 талаптарына сәйкес анықталды, ал түйіршіктік құрамы СТ РК 1273-2004 бойынша белгіленді. Зерттеулер бойынша толтырғышы шаңды – құмайт ретінде жіктелді. Максималды тығыздық пен оңтайлы ылғалдылық СТ РК 1285-2004 бойынша, ал ылғалдылық пен илемділік көрсеткіштері СТ РК 1290-2004 бойынша анықталды.

Кесте 1 – Топырақтың негізгі физикалық сипаттамалары

Көрсеткіш	Мәні	Нормативтік құжат
Топырақ түрі	Шаңды құмайт	ГОСТ 25100-2020
Максималды тығыздығы, г/см^3	1,99	СТ РК 1285-2004
Оңтайлы ылғалдылығы, %	10,7	СТ РК 1285-2004
Ылғалдылығы, %	11,2	СТ РК 1290-2004
Аққыштық шегі, %	15,9	СТ РК 1290-2004
Созылмалық шегі, %	13,89	СТ РК 1290-2004
Илемділік саны	0,02	ГОСТ 25100-2020

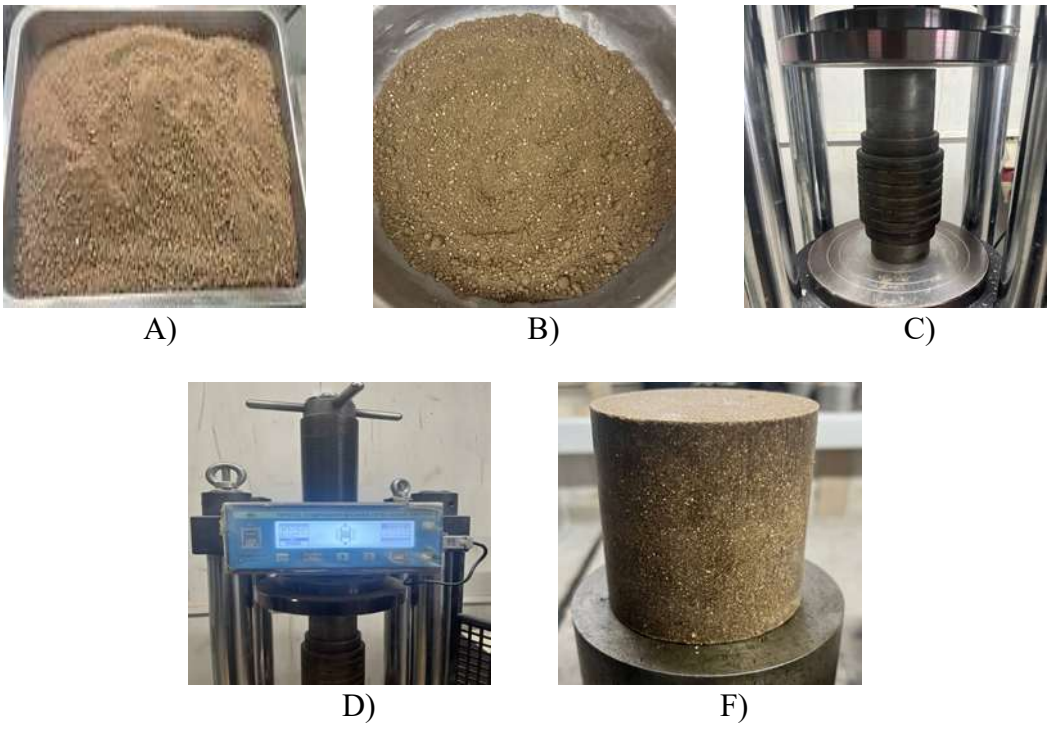


Сурет 1 – Топырақтың түйіршіктік құрамы

Тұтқыр және минералдық компоненттер ретінде 32,5 Н, М400 портландцементі, құрылысқа арналған сөндірілмеген әк, БНД 70/100 маркалы мұнай жол битумы және Астана қаласының ЖЭО-лардың бірінен алынған күл пайдаланылды. Цемент пен әк бейорганикалық тұтқырлар ретінде, битум органикалық тұтқыр, ал ЖЭО күлі цемент-күл құрамдарының минералдық компоненті ретінде қолданылды.

Цементті және әкті топырақпен құрғақ күйде араластырып, кейін біртекті қоспаға айналғанға дейін есептік мөлшердегі су қосу арқылы дайындалды. Барлық тәжірибелік сериялар үшін СТ РК 1285-2004 бойынша анықталған топырақтың оңтайлы ылғалдылығына сәйкес келетін 10,7% бірыңғай технологиялық ылғалдылық қабылданды. Бұл мән салыстырмалы тәжірибенің тұрақты параметрі ретінде пайдаланылады және модификацияланған құрамдардың жеке оңтайлы ылғалдылығы ретінде қарастырылмайды. Битум-топырақ қоспасы БНД 70/100 маркалы тұтқыр мұнай жол битумын қолдану арқылы ыстық күйде араластыру әдісімен дайындалды.

Үлгілерді дайындау зерттеуде қабылданған қалыптау әдістемесі бойынша, п.6.3.1 СТ РК 1218-2024 тармағына сілтеме жасай отырып жүргізілді. Диаметрі 71,4 мм металл цидиндрлік қалып пайдаланылды. Дайылдалған қоспа цилиндрлік қалыпқа салынып, содан ккейін қалып ПГМ-500МГ4А гидравликалық престің плиталарының арасына орнатылды. Қалыптау кезіндегі нақты қысым 20 МПа, жүктеме астында ұстау ұзақтығы 180 секунд болды. Барлық салыстырылатын құрамдар үшін бірдей престеу режимі қолданылды. Престеу аяқталғаннан кейін жүктеме алынып, үлгі қалыптан шығарылып, оның геометриялық параметрлері штангенциркульмен өлшенді. Үлгілердің массасы ВЛГ-МГ4 зертханалық таразысында анықталған болатын.



A) B) C)

D) F)

Сурет 2 – Үлгілерді дайындау процесі: A) Кептірілген топырақ; B) Топырақ және тұтқыр қоспасы; C) Қоспаны қалыптау; D) Престеу режимі; F) Үлгі

Қалыптан шығарылғаннан кейін үлгілер белгіленген сынақ мерзіміне дейін зертханада бөлме температурасында сақталды. Барлық салыстырылатын сериялар бірдей сақтау жағдайларында ұсталып,сынақтар 7 және 28 тәулік мерзімде жүргізілді. Сынақ алдында әрбір үлгінің массасы мен нақты геометриялық өлшемдері анықталып, алынған деректер негізінде қалыпталған үлгінің көлемдік тығыздығы есептелді. Сығу кезіндегі беріктік шегі ПГМ-500МГ4А гидравликалық престе үлгі бұзылғанға дейін жүктеу арқылы анықталды.

Нәтижелер және оларды талқылау

Тұтқыр материалдардың тиімділігі битуммен, әкпен және цементпен нығайту нұсқалары боойынша кезең-кезеңімен бағаланды. Әкті, цементті және цемент-күл құрамдарының әрбір мөлшерлемесі үшін 7 және 28 тәулік мерзімінде үш параллель үлгіден сыналды. Бақылау көрсеткіші ретінде тұтқыр қоспасыз бастапқы топырақ пайдаланылды; оның орташа беріктігі 7 тәулікте 0,876 Мпа, ал 28 тәулікте 2,017 МПа болды.

Битум. БНД 70/100 маркалы тұтқыр мұнай жол битумын алдын ала бағалау нәтижесінде қабылданған ыстық араластыру тәсілінің зерттелетін топырақ үшін бірқатар технологиялық шектеулері анықталды.

Қоспаны дайындау барысында тұтқырдың біркелкі таралуын және минералдық бөлшектердің біртекті қапталуын қамтамасыз ету мүмкін болмады. Битум шығынын одан әрі арттыру қоспаның материал сыйымдылығын ұлғайтып, технологиялық режимді күрделендірер еді. Осыған байланысты беріктік пен көлемдік тығыздықты анықтауға арналған қалыпталған үлгілердің толық сериясы дайындалмады. Алынған нәтиже нақты «БНД 70/100 - зерттелетін топырақ - қабылданған ыстық араластыру технологиясы» жүйесіне қатысты және бейорганикалық тұтқырларды одан әрі зерттеуге көшуге негіз болды.



Сурет 3 – Битум мен топырақтың 6% қатынасы

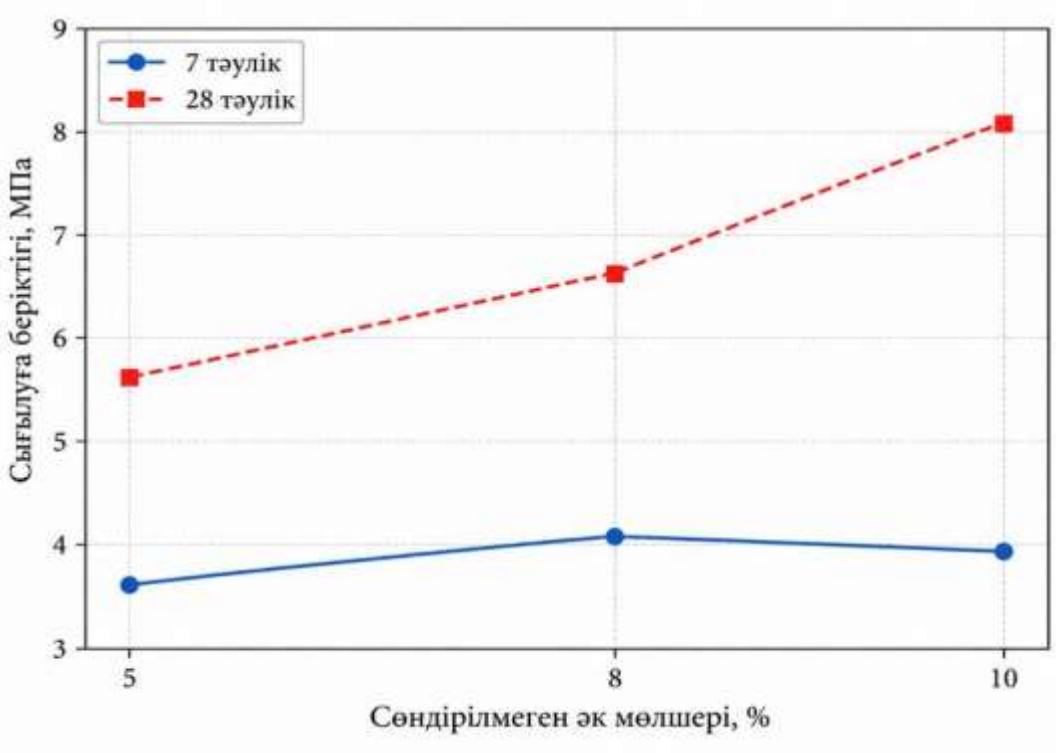
Әк. Әкті нығайтудың тиімділігін бағалау үшін сөндірілмеген әктің мөлшері құрғақ топырақ массасының 5%, 8% және 10%-ы деңгейінде қабылданды. Сыналған барлық үлгілердің нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 - Сөндірілмеген әкпен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Әк мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
5	7	71,0	628,5	2,21	3,593
5	7	70,4	617,3	2,19	3,509
5	7	72,1	643,7	2,23	3,691
5	28	72,0	625,0	2,17	5,608
5	28	70,8	609,5	2,15	5,482
5	28	72,6	636,6	2,18	5,719
8	7	72,0	616,5	2,14	4,091
8	7	71,3	616,6	2,16	3,960
8	7	72,4	614,6	2,12	4,170
8	28	72,0	615,0	2,13	6,616
8	28	71,3	602,4	2,11	6,484
8	28	70,6	607,8	2,15	6,763
10	7	71,0	616,5	2,17	3,922
10	7	70,6	607,8	2,15	3,856
10	7	72,2	630,2	2,18	4,021

10	28	71,0	600,0	2,11	8,059
10	28	70,4	589,1	2,09	7,927
10	28	72,2	615,7	2,13	8,207

Әкті құрамдардың 7 тәуліктегі орташа беріктігі әк мөлшері 5% болғанда 3,598 МПа, 8% болғанда 4,074 МПа және 10% болғанда 3,933 МПа құрады. Ерте мерзімде ең жоғары көрсеткіш 8% әк мөлшерінде алынды; мөлшерін 10%-ға дейін арттыру беріктіктің қосымша өсуін қамтамасыз етпеді. 28 тәулікке қарай орташа беріктік тиісінше 5,603; 6,621 және 8,064 МПа-ға дейін артты. Беріктіктің ең айқын өсуі 10% әк бар құрамда байқалды: 7 тәулікпен салыстырғанда көрсеткіш шамамен 2,05 есе ұлғайды. Әкті үлгілердің көлемдік тығыздығы 2,09–2,23 г/см³ аралығында болды және беріктіктің артуымен салыстырмалы деңгейде өсім байқалмады.



Сурет 4 - Сөндірілмеген әк мөлшерінің 7 және 28 тәуліктегі нығайтылған топырақтың сығылу беріктігіне әсері

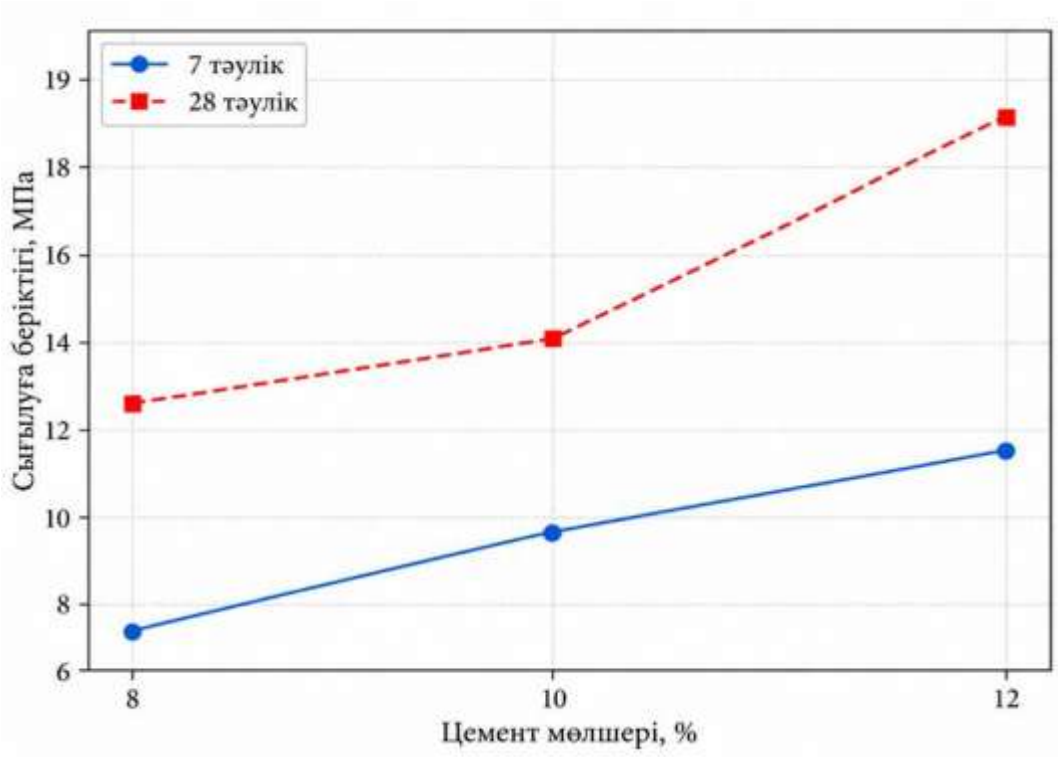
Цемент. Цементпен нығайту құрғақ топырақ массасының 8%, 10% және 12%-ы мөлшеріндегі цемент құрамында зерттелді. Үлгілердің жеке сынақ нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 - Цементпен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Цемент мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
8	7	70,9	640,6	2,26	7,352
8	7	71,6	646,8	2,26	7,233
8	7	70,3	633,8	2,25	7,523
8	28	71,0	635,0	2,23	12,55
8	28	70,6	624,7	2,21	12,43
8	28	72,3	648,4	2,24	12,74
10	7	72,9	649,1	2,22	9,659

10	7	71,7	634,4	2,21	9,478
10	7	70,6	633,2	2,24	9,785
10	28	71,0	625,0	2,20	14,03
10	28	71,8	635,3	2,23	13,92
10	28	70,5	618,2	2,18	14,21
12	7	71,0	637,5	2,24	11,63
12	7	71,0	646,8	2,28	11,43
12	7	71,6	647,3	2,26	11,54
12	28	71,0	630,0	2,22	18,23
12	28	70,5	621,0	2,20	18,12
12	28	72,2	647,5	2,24	18,51

Цементті серия үшін беріктіктің байланыстырғыш мөлшеріне тәуелді бірізді өзгерісі анықталды. 7 тәулік жасында орташа мәндер 8% цемент үшін 7,369 МПа, 10% цемент үшін 9,641 МПа және 12% цемент үшін 11,533 МПа құрады. Бастапқы топырақпен салыстырғанда бұл беріктіктің шамамен 8,4; 11,0 және 13,2 есе артуына сәйкес келеді. 28 тәулікке қарай орташа беріктік тиісінше 12,573; 14,053 және 18,287 МПа-ға дейін артты. Сынақтың екі мерзімінде де ең жоғары мән 12% цемент мөлшерінде алынды.



Сурет 5 – Цемент мөлшерінің 7 және 28 тәулік жасындағы нығайтылған топырақтың беріктігіне әсері

Цемент мөлшерін арттыру беріктіктің айқын өсуімен қатар жүрді, алайда бұл тәуелділік қатаң сызықтық сипатта болмады. Цемент мөлшері 8%-дан 10%-ға дейін арттырылғанда 7 тәуліктегі беріктік шамамен 30,8%-ға, ал 10%-дан 12%-ға дейін арттырылғанда тағы 19,6%-ға өсті. 28 тәуліктік үлгілер үшін сәйкес өсім шамамен 11,8 және 30,1% құрады. Бұл ретте көлемдік тығыздық едәуір аз өзгерді.

Мысалы, 7 тәуліктегі 8% және 12% цементті құрамдардың орташа тығыздығы тиісінше 2,257 г/см³ және 2,260 г/см³ болды, ал олардың беріктік мәндерінің айырмашылығы 4 МПа-дан астамды құрады.

Бастапқы құрам. Нәтижелерді салыстыру кезінде цементтің сөндірілмеген әкке қарағанда жоғары беріктікпен қамтамасыз еткенін көрсетті. Тұтқыр мөлшері 8% болғанда цементті құрамның орташа беріктігі әкті құрамнан 7 тәулікте шамамен 1,81 есе, ал 28 тәулікте 1,90 есе жоғары болды. 10% мөлшерінде бұл айырмашылық тиісінше шамамен 2,45 және 1,74 есе құрады. Салыстырмалы сериядағы ең жоғары мәндер 12% цементті құрам үшін алынды - 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Сондықтан бұл құрам келесі зерттеу кезеңі үшін түпкілікті оңтайлы құрам ретінде емес, бастапқы құрам ретінде қабылданды. Келесі кезеңнің міндеті қол жеткізілген беріктік деңгейін барынша сақтай отырып, цемент шығынын төмендету болды.

ЖЭО күлін қолдану арқылы цементті құрамды оңтайландыру. Ресурстық оңтайландыру мақсатында цементтің бір бөлігі ЖЭО күлімен алмастырылды, бұл ретте цемент пен күлдің жалпы мөлшері құрғақ топырақ массасының 12%-ы деңгейінде тұрақты сақталды. Зерттелген серияға 12% цементтен тұратын бастапқы құрам, сондай-ақ 10% цемент + 2% ЖЭО күлі, 8% цемент + 4% ЖЭО күлі және 6% цемент + 6% ЖЭО күлі құрамдары енгізілді.



А)



В)

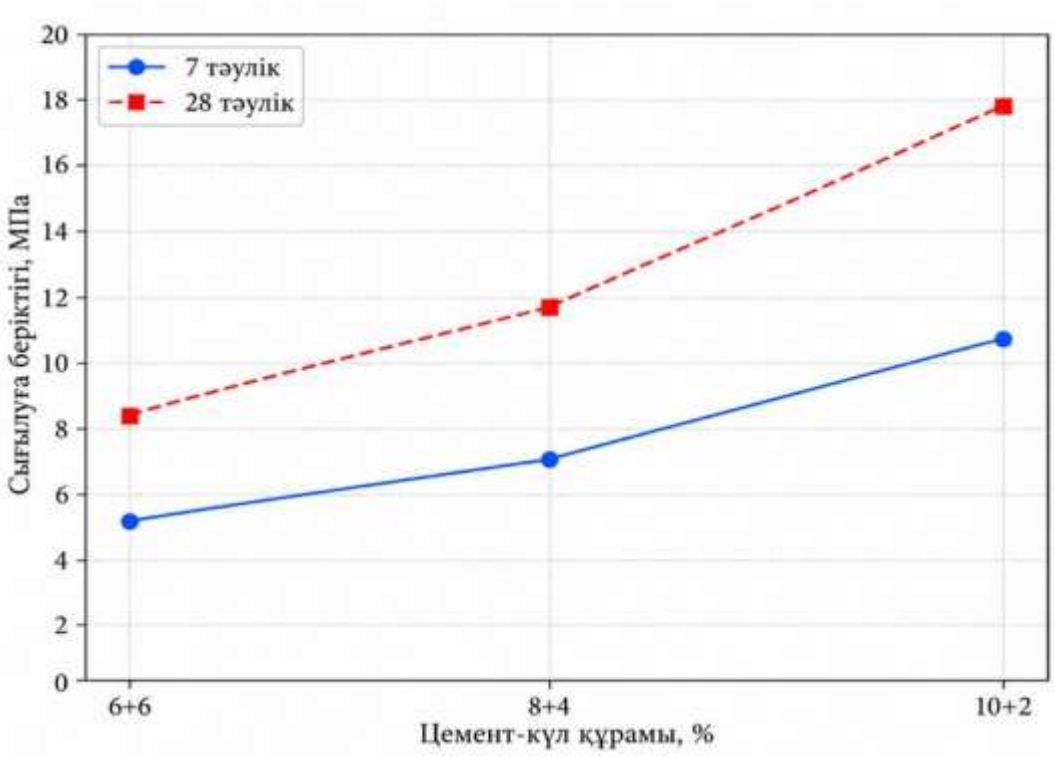
Сурет 6 - ЖЭО күлін қолдану арқылы цементті құрамды оңтайландыру: А) ЖЭО күлі; В) Топырақ, цемент және ЖЭО қосындысы

Кесте 4 – Цемент және ЖЭО күлімен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Цемент мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
Ц10%+К2%	7	71,0	637,5	2,24	11,63
Ц10%+К2%	7	71,0	646,8	2,28	11,43
Ц10%+К2%	7	71,6	647,3	2,26	11,54
Ц10%+К2%	28	71,0	630,0	2,22	18,23
Ц10%+К2%	28	70,5	621,0	2,20	18,12
Ц10%+К2%	28	72,2	647,5	2,24	18,51
Ц8%+К4%	7	71,0	628,8	2,212	10,160
Ц8%+К4%	7	70,8	628,1	2,216	10,920
Ц8%+К4%	7	71,4	633,0	2,214	11,040
Ц8%+К4%	28	71,0	622,6	2,190	17,720

Ц8%+К4%	28	71,4	628,9	2,200	17,860
Ц8%+К4%	28	70,8	618,0	2,180	17,940
Ц6%+К6%	7	71,0	627,2	2,206	7,046
Ц6%+К6%	7	71,2	628,4	2,204	7,118
Ц6%+К6%	7	70,7	622,9	2,200	6,982
Ц6%+К6%	28	71,2	621,5	2,180	11,580
Ц6%+К6%	28	70,7	614,3	2,170	11,730
Ц6%+К6%	28	71,6	627,8	2,190	11,790

Алынған цемент-күл сериясының нәтижелері цемент мөлшері азайып, ЖЭО күлінің үлесі артқан сайын беріктіктің төмендейтінін көрсетті. 7 тәулікте 10% цемент және 2% күл қосылған құрамның орташа беріктігі 10,707 МПа, 8% цемент және 4% күл қосылған құрамда 7,049 МПа, ал 6% цемент және 6% күл қосылған құрамда 5,199 МПа болды. 12% цементтен тұратын базалық құрамның беріктігі 11,533 МПа құрады. Осылайша, бастапқы құрамға ең жақын нәтиже цементтің 2%-ын күлмен алмастырған жағдайда алынды: беріктік айырмашылығы 0,826 МПа болды.



Сурет 6 – Цемент және ЖЭО күл мөлшерінің 7 және 28 тәулік жасындағы нығайтылған топырақтың беріктігіне әсері

28 тәулікке қарай барлық цемент-күл құрамдарының орташа беріктігі артты. 10% цемент және 2% күл қосылған құрамның беріктігі 17,840 МПа-ға, 8% цемент және 4% күл қосылған құрамда 11,700 МПа-ға, ал 6% цемент және 6% күл қосылған құрамда 8,423 МПа-ға жетті. 12% цементтен тұратын базалық құрамның беріктігі 18,287 МПа болды.

Бұл ретте базалық құрам мен 10% цемент + 2% күл құрамының арасындағы айырмашылық небәрі 0,447 МПа болды, ал күл мөлшері одан әрі артқанда айырмашылық тиісінше 6,587 және 9,864 МПа-ға дейін өсті.

7 тәуліктен 28 тәулікке дейін 10% цемент және 2% күл құрамының беріктігі 7,133 МПа-ға, 8% цемент және 4% күл құрамында 4,651 МПа-ға, ал 6% цемент және 6% күл құрамында 3,224 МПа-ға артты. Бұл цементтің күлмен алмастырылу дәрежесі төмен болған кезде беріктіктің уақыт өте келе өсуі анағұрлым айқын сақталатынын көрсетеді.

Цемент-күл құрамдарының көлемдік тығыздығы салыстырмалы түрде аз өзгерді. 7 тәулікте орташа мәндер 10% цемент + 2% күл, 8% цемент + 4% күл және 6% цемент + 6% күл құрамдары үшін тиісінше 2,214; 2,203 және 2,180 г/см³ болды. 28 тәулікте бұл көрсеткіштер сәйкесінше 2,190; 2,180 және 2,160 г/см³ құрады. Демек, күл үлесі артқан кезде байқалған беріктіктің төмендеуі көлемдік тығыздықтағы өзгерістерге қарағанда анағұрлым айқын болды. Сынақтарды бағалау барысында ең ұтымды көрсеткіштер 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрамнан алынды. Оның 28 тәуліктегі беріктігі 17,840 МПа болып, 12% цементтен тұратын базалық құрамнан небәрі 0,447 МПа-ға төмен болды. Цемент мөлшерін 8 және 6%-ға дейін одан әрі азайтқанда беріктіктің төмендеуі айқынырақ байқалды. Сондықтан 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрам кейінгі бағалау және нақты сынақ нәтижелерімен растау үшін ең перспективалы нұсқа ретінде қарастырылады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу жергілікті топырақты нығайту кезінде қолданылған тұтқырлардың тиімділігі айтарлықтай айырмашылықтары бар екенін көрсетті. Қабылданған ыстық араластыру технологиясы бойынша БНД 70/100 маркалы тұтқыр жол битумын қолдану біртекті қоспа алуға мүмкіндік бермеді, сондықтан бұл нұсқа бойынша кейінгі сандық сынақтар жүргізілген жоқ.

Сөндірілмеген әк топырақтың беріктігін арттырды, алайда абсолюттік көрсеткіштері бойынша цементпен нығайтудан төмен нәтиже көрсетті. Цементті құрамдарда цемент мөлшері артқан сайын беріктіктің тұрақты өсуі байқалды. Ең жоғары көрсеткіштер 12% цемент қолданылған құрамда алынды: 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Осы нәтижелер негізінде 12% цементті құрам кейінгі оңтайландыру кезеңі үшін бастапқы құрам ретінде қабылданды.

Цемент-күл құрамдарын алдын ала бағалау цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыра отырып, жоғары беріктік деңгейін сақтауға болатынын көрсетті. Ең перспективті нәтиже 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрамда алынды: орташа беріктік 7 тәулікте 10,707 МПа, ал 28 тәулікте 17,840 МПа болды. Бұл көрсеткіштер 12% цементтен тұратын базалық құрамның нәтижелеріне жақын. Күл мөлшерін 4 және 6%-ға дейін арттырған кезде беріктіктің анағұрлым айқын төмендеуі байқалды.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы жергілікті топырақты нығайту кезінде цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы портландцемент шығынын азайту мүмкіндігімен анықталады. Мұндай тәсіл нығайтылған жол негізінің материал сыйымдылығын төмендетуге және сонымен қатар екінші реттік минералдық материалды жол құрылымдарында пайдалануға мүмкіндік береді.

Кейінгі зерттеулерде цемент-күл құрамдарының нәтижелерін толық көлемдегі нақты сынақтармен растау, таңдалған құрамның ұзақ мерзімді беріктігін, ылғал әсеріне және циклдік мұздату-ерітуге төзімділігін бағалау ұсынылады. Сонымен қатар цемент-күлмен нығайтылған топырақ құрылымын зерттеу және цементті ЖЭО күлімен ішінара алмастырудың техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау перспективті бағыт болып табылады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Roshan M. J., Rashid A. S. B. A. Geotechnical characteristics of cement stabilized soils from various aspects: a comprehensive review//Arabian Journal of Geosciences.- 2024.- Vol. 17.- Art. 1.- DOI: https://doi.org/10.1007/s12517-023-11796-1

2. Slobodchikova N. A., Pljuta K. V., Gorelov A. V., Kljuev S. V., Leonov D. I. Razrabotka sostavov gruntov, ukreplennyh neorganicheskimi vjazhushhimi materialami//Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura.- 2025.- №10 (65).- C.1-8.- DOI: https://doi.org/10.60797/mca.2025.65.2

3. Kired F., Šešlija M., Milović T., Starčev-Ćurčin A., Bulatović V., Radović N. Stabilization of different soil types using a hydraulic binder//Buildings.- 2023.- Vol. 13, №8.- Art. 2040.- DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13082040

4. Gruchot A., Kamińska K., Woś A. The effects of lime and cement addition on the compaction and shear strength parameters of silty soils//Materials.- 2025.- Vol. 18, №5.- Art. 974.- DOI: https://doi.org/10.3390/ma18050974

5. Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed//Construction of Unique Buildings and Structures.- 2022.- №105.- Art. 10503.- DOI: https://doi.org/10.4123/CUBS.105.3

6. Simchuk E. N., Zhdanov K. A., Zarifov R. R. Issledovanie jeffektivnosti kompleksnyh mineral'nyh vjazhushhih v ukreplenii gruntov dlja dorozhnyh konstrukcij//Dorogi i mosty.- 2023.- №50-2.- C.309-322

7. Smagulova M., Dyussembinov D., Kang J. K., Zhumagulova A., Zhumamuratov M. The influence of stabilizers on the strength characteristics of soils in the Western Kazakhstan region//Technobius.- 2025.- Vol. 5, №3.- Art. 0084.- DOI: https://doi.org/10.54355/tbus/5.3.2025.0084

8. Ignat'ev A. A. Ocenka vlijanija izvesti pri ukreplenii peska melkogo na vremja ego vyderzhivanija pri optimal'noj vlazhnosti//Umnye kompozity v stroitel'stve.- 2024.- T. 5, вып. 3.- C.53-64.- DOI: https://doi.org/10.52957/2782-1919-2024-5-3-53-64

9. de Medeiros A. S., da Silva M. A. V. Influence of emulsion type and moisture on the stiffness of stabilized granular soil//Civil Engineering Journal.- 2025.- Vol. 11, №6.- P.2282-2302.- DOI: https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-06-07

10. Cui G., Zhuo C., Sun F., Ma S., Liu Z. Mechanical properties and neural network prediction of cement fly ash-enhanced roadbed soil in seasonal frozen zones under short-term curing//KSCE Journal of Civil Engineering.- 2024.- Vol. 28, №1.- P.106-123.- DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-023-2077-6

Авторлар туралы мәліметтер:

Д.С. Молдабаев - 7М07361 «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын және конструкцияларын өндіру» білім беру бағдарламасының магистранты, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, yessengabulov_sk@enu.kz

Д.С. Молдабаев - магистрант образовательной программы 7М07361 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, yessengabulov_sk@enu.kz

D. Moldabayev - Master's student of the educational program 7M07361 "Production of Building Materials, Products and Structures", Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, yessengabulov_sk@enu.kz

Авторлардың үлесі:

Д.С. Молдабаев - зерттеу жұмыстарын орындау, зертханалық сынақтарды жүргізу, эксперименттік деректерді жинау және өңдеу, нәтижелерді талдау, кестелер мен графикалық материалдарды дайындау, алынған нәтижелерді интерпретациялау, мақаланың бастапқы мәтінін жазу және рәсімдеу.

С.К. Есенгабулов - зерттеу тұжырымдамасы мен әдіснамасын қалыптастыру, ғылыми жетекшілік ету, зерттеу нәтижелерін талқылау және интерпретациялау, мақаланың ғылыми мазмұнын тексеру, редакциялау және түпкілікті нұсқасын мақұлдау.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану: Бұл мақаланы дайындау барысында жасанды интеллект құралдары пайдаланылған жоқ.

УКРЕПЛЕНИЕ МЕСТНОГО ГРУНТА РАЗЛИЧНЫМИ ВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО СОСТАВА

Молдабаев Динмухаммед[1,*], Есенгабулов Серикболат[1]

[1]Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

[*]Корреспондент автор: moldabayevvv1@gmail.com

Аннотация. Использование местных грунтов в конструкциях дорожных оснований требует научно обоснованного выбора вяжущего материала, поскольку эффективность укрепления зависит от свойств грунта, вида и содержания вяжущего, влажности и условий твердения. Целью исследования являлась сравнительная оценка эффективности укрепления местного грунта битумом, известью и цементом, определение наиболее эффективного вяжущего, а также оценка возможности снижения расхода цемента за счет частичной замены его золой ТЭЦ. В исследовании рассматривались составы с содержанием негашеной извести 5, 8 и 10%, а также цемента 8, 10 и 12%. Предел прочности при сжатии и объемную плотность образцов определяли в возрасте 7 и 28 суток. При применении битума марки БНД 70/100 вследствие его высокой вязкости не удалось получить однородную смесь. Наиболее высокие значения прочности среди основных вяжущих были получены при содержании цемента 12% и составили 11,533 МПа в возрасте 7 суток и 18,287 МПа в возрасте 28 суток. Данный состав был принят в качестве исходного для последующей оптимизации цементно-зольной смеси. По результатам исследования наиболее перспективным оказался состав, содержащий 10% цемента и 2% золы ТЭЦ, прочность которого составила соответственно 10,707 и 17,840 МПа. Полученные результаты свидетельствуют о практической возможности снижения расхода цемента при сохранении высокого уровня прочности укрепленного грунта.

Ключевые слова: укрепление грунта, дорожное основание, цемент, негашеная известь, зола ТЭЦ, предел прочности при сжатии, оптимизация.

STABILIZATION OF LOCAL SOIL WITH VARIOUS BINDING MATERIALS AND OPTIMIZATION OF A CEMENT–FLY ASH COMPOSITION

Dinmukhammed Moldabayev[1,*], Serikbolat Yessengabulov[1]

[1]Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[*]Corresponding author: moldabayevvv1@gmail.com

Abstract. The use of local soils in road base structures requires a scientifically justified selection of a binding material, since stabilization efficiency depends on the soil properties, the type and content of the binder, moisture conditions, and curing conditions. The aim of this study was to comparatively evaluate the effectiveness of stabilizing local soil with bitumen, lime, and cement, to determine the most effective binder, and to assess the possibility of reducing cement consumption by partially replacing it with thermal power plant fly ash. The study considered mixtures containing 5, 8, and 10% quicklime, as well as 8, 10, and 12% cement. The compressive strength and bulk density of the specimens were determined after 7 and 28 days of curing. When BND 70/100 bitumen was used, its high viscosity prevented the production of a homogeneous mixture. Among the main binders, the highest strength values were obtained with 12% cement, reaching 11.533 MPa after 7 days and 18.287 MPa after 28 days.

This composition was selected as the reference mixture for subsequent optimization of the cement–fly ash system. According to the results, the most promising composition contained 10% cement and 2% thermal power plant fly ash, with compressive strength values of 10.707 and 17.840 MPa after 7 and 28 days, respectively. The obtained results demonstrate the practical feasibility of reducing cement consumption while maintaining a high strength level of the stabilized soil.

Keywords: soil stabilization, road base, cement, quicklime, thermal power plant fly ash, compressive strength, optimization.

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

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

FINITE ELEMENT PERFORMANCE EVALUATION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS WITH BASIC OXYGEN FURNACE SLAG AS A COARSE AGGREGATE REPLACEMENT

Assel Nugmanova[1,*], Cao Rongji[2]

[1]JSC "Kazakhstan Road Research Institute" (KazDorNII), Astana, Kazakhstan
[2]Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Nanjing, China
[*]Corresponding author: a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Abstract. The use of steelmaking by-products in road construction reduces the demand for virgin aggregate and supports circular economy practices in the road sector. This paper evaluates the structural performance of an asphalt concrete pavement in which the coarse aggregate of the wearing course is replaced with Basic Oxygen Furnace (BOF) slag. A four-layer flexible pavement was modelled in ABAQUS 2021 under both linear elastic and linear viscoelastic constitutive laws, the latter through a four-term Prony series with a Williams-Landel-Ferry shift function fitted to laboratory data, and was validated against published benchmark results with a deviation of 1.32 % in maximum rutting depth. A conventional pavement with a fine-grained gravel wearing course (E = 3340 MPa at 20 °C) was compared with a BOF slag-modified pavement (E = 2135 MPa at 20 °C). The rutting depths were 2.49 mm and 2.58 mm under the elastic assumption (3.6 %) and 2.42 mm and 2.53 mm under the viscoelastic assumption (4.5 %), while the peak von Mises stress was lower in the BOF slag pavement in both cases (1.31 MPa against 1.48 MPa and 1.41 MPa against 1.59 MPa). The sensitivity of the structure to the surface layer is expressed as a power law: the rutting depth scales with the wearing course modulus to the power of -0.08 under the elastic and -0.10 under the viscoelastic assumption and the peak stress to the power of +0.27, so that a reduction of the surface stiffness by 36 % changes the structural response by less than 5 %. At the scale of a two-lane carriageway the substitution replaces about 800 t of natural crushed stone per kilometre of wearing course. BOF slag can therefore be regarded as a technically viable and sustainable aggregate substitute for wearing course mixtures, provided that the volumetric stability of the slag is verified before placement.

Keywords: Basic Oxygen Furnace slag, asphalt concrete pavement, finite element analysis, viscoelastic behaviour, rutting, sustainable road materials

Introduction

Asphalt concrete accounts for about 94 % of the paved road surfaces in the world [1] and consumes roughly 2.5 billion tonnes of mineral aggregate every year, a demand projected to grow by nearly 50 % by 2050 [2]. Rising material costs, the depletion of natural aggregate deposits and tighter environmental regulation make alternative aggregate sources an urgent task for the road sector, including in Kazakhstan.

Basic Oxygen Furnace (BOF) slag, a by-product of converter steelmaking, is one of the most promising candidates. World crude steel output exceeded 1.95 billion tonnes in 2023 [3], and 150-200 kg of BOF slag is generated per tonne of steel, which corresponds to more than 300 million tonnes of potential aggregate per year. BOF slag is highly angular (more than 70 % crushed faces), resistant to abrasion (Los Angeles loss of 15-25 %), has a high polished stone value (above 55) and a high internal friction angle (42-48°), all of which are favourable for pavement mixtures [4,

5]. Two factors restrict its direct use in a surface layer. The first is the content of free lime and periclase, which can hydrate with a delay and cause volumetric expansion, so that weathering and an expansion check are required before the slag is accepted as an aggregate [6]. The second is the lower stiffness of the resulting asphalt concrete compared with mixtures based on natural gravel, which makes a structural verification of the pavement necessary before the material can be recommended for the wearing course.

Finite element analysis (FEA) has become the standard computational tool for such a verification, since it provides the full stress-strain field in a layered system under an arbitrary load [7]. Published studies have addressed tyre-pavement contact stresses [8], the rutting of geosynthetically reinforced pavements [9] and the optimisation of tack coat layers [10], while slag materials have been examined mainly as subbase constituents [11]. No published work, however, has systematically assessed BOF slag in the wearing course using both elastic and viscoelastic material models, and none has done so for Kazakhstani materials and the local climatic range from -40 °C in winter to +40 °C in summer.

The aim of this study is therefore to develop and validate a finite element model of a flexible pavement and to compare the structural response of a conventional gravel pavement with that of a BOF slag-modified pavement under both linear elastic and linear viscoelastic material assumptions. The contribution is threefold: the model is verified against published benchmark data before use; both constitutive assumptions are applied to the same structure, which separates the instantaneous from the time-dependent response; and the sensitivity to the wearing course stiffness is expressed as a dimensionless power law transferable to other mixtures and moduli.

Methodology

A four-layer pavement structure was built in ABAQUS 2021: an asphalt concrete wearing course 120 mm thick, a stabilised gravel-sand base course 180 mm thick, an unstabilised granular foundation layer 300 mm thick and a subgrade 2000 mm thick. The model extends 3000 mm in the direction of traffic and 2000 mm transversely; these dimensions were established by a preliminary convergence study so that the boundaries do not affect the response in the wheel path. Layer thicknesses follow the design recommendations R RK 218-130-2016 [12] and reproduce a typical flexible pavement cross-section used in Kazakhstani highway practice (Figure 1).

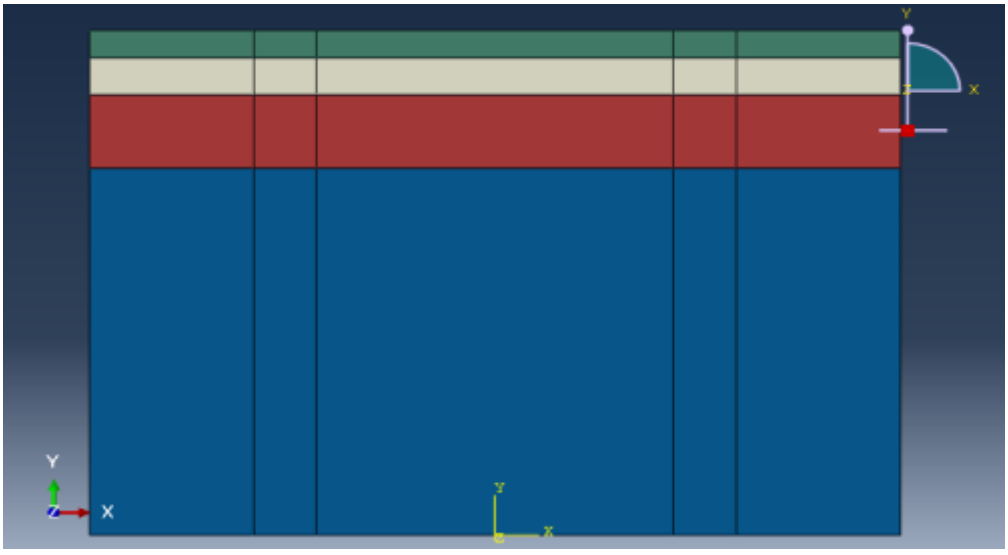


Figure 1 – Assembled four-layer pavement model: wearing course, base course, foundation layer and subgrade

The layers were discretised with S4R shell elements (four-node elements with reduced integration and hourglass control) using five Simpson integration points through the thickness, which captures the flexural stress gradient of a layered pavement at a modest computational cost [13]. Mesh sensitivity was examined by refining the element size from 100 mm to 10 mm in the wheel path region until the maximum displacement and the von Mises stress changed by less than 2 % between successive refinements; the final mesh contains 1120 quadrilateral elements and 1312 nodes, with an aspect ratio below 3:1 and a Jacobian determinant above 0.7. Perfect bonding was reproduced by three tie constraints that keep displacements and rotations continuous at the interfaces, including the foundation-subgrade interface where the stiffness contrast exceeds 40:1; this formulation transfers both normal and shear forces and is appropriate for pavements in which interlayer slip and debonding are negligible under normal traffic.

The tyre load was applied as a uniform pressure of 0.66 MPa over rectangular contact patches of 260 × 180 mm representing a dual tyre configuration; this is the design contact stress of a 13-tonne single axle adopted in Kazakhstani practice and is consistent with the AASHTO standard axle of 80 kN. In the time-dependent analysis the load amplitude followed a period equal to the passage time of a wheel at the design speed, and traffic accumulation was simulated by a stabilised static procedure. The bottom of the subgrade was restrained against vertical displacement and the lateral boundaries against horizontal translation normal to them, which represents a rigid base at depth and symmetry at the sides. Two response quantities were extracted at the reference temperature of 20 °C: the maximum vertical displacement in the wheel path, reported as the rutting depth, and the peak von Mises stress, a scalar measure of the multiaxial stress state that governs shear-related distress in a layered system.

Elastic properties were taken from R RK 218-130-2016 [12] and supplementary laboratory testing (Table 1): the wearing course modulus of 3340 MPa at 20 °C from a dynamic modulus master curve at 10 Hz according to AASHTO T 342, the base and foundation moduli from resilient modulus tests according to AASHTO T 307, and the subgrade modulus from a correlation with the California Bearing Ratio. For validation the properties were set equal to those of the benchmark study [14]. In the comparative analysis only the wearing course modulus was changed, from 3340 MPa to 2135 MPa, so that the effect of the replacement is isolated from any other factor.

Table 1 – Material properties of the pavement layers

Layer	Material	h, mm	E, MPa	ν	ρ, kg/m³
Wearing course	AC, fine-grained gravel	120	3340	0.35	2350
Wearing course	AC, BOF slag aggregate	120	2135	0.35	2350
Base course	Stabilised gravel-sand mix	180	650	0.35	2200
Foundation	Unstabilised gravel-sand	300	180	0.35	2100
Subgrade	Clayey soil	2000	46	0.35	1900

The viscoelastic behaviour of the asphalt concrete was described by a generalised Maxwell model in the form of a four-term Prony series fitted by nonlinear least squares to stress-relaxation data measured at 20 °C:

$$E(t) = E_\infty + \Sigma\, g_i \exp(-t / \tau_i), \quad (1)$$

where E_∞ is the long-term equilibrium modulus, g_i the relaxation strength and τ_i the relaxation time of the i-th element. Temperature dependence was introduced through the Williams-

Landel-Ferry shift function with the constants $C_1 = 8.9$ and $C_2 = 102$ for a reference temperature of 20 °C over the range -10 °C to 50 °C; the fitted set reproduces the measured relaxation data within ±5 % for times from 10^{-5} to 10^{3} s.

Dynamic modulus testing followed AASHTO T 342 at 0, 10, 20, 30 and 40 °C and at 0.1-25 Hz, and master curves were built at a reference temperature of 20 °C. The instantaneous modulus for a loading time of 0.1 s follows an exponential temperature law:

$$\text{traditional wearing course: } E_{0.1}(T) = 12961 \exp(-0.085T) \text{ MPa}, \ R^2 = 0.998; \quad (2)$$

$$\text{BOF slag wearing course: } E_{0.1}(T) = 6852.7 \exp(-0.082T) \text{ MPa}, \ R^2 = 0.999. \quad (3)$$

Results and Discussion

The model was first validated against the benchmark results of Bouacha et al. [14], who analysed flexible, geosynthetically reinforced and rigid pavements under the same 13-tonne axle load. The maximum rutting depth computed here, 2.324 mm, differs from the published value of 2.294 mm by 1.32 %, well inside the tolerance of 5 % normally accepted in pavement finite element verification [15]. The agreement confirms the geometry, the materials, the load, the mesh and the boundary conditions, and justifies extending the model to the BOF slag configuration.

The von Mises stress field decays through the depth of the structure in the manner predicted by layered elastic theory (Figure 2). Averaged over 75 % of the evaluated elements, the stress falls from about 2.37 MPa in the surface layers to 1.97-0.79 MPa in the intermediate layers and to less than 0.2 MPa in the lower strata, with a peak of 3.17 MPa in the critical load transfer zones, which confirms that the subgrade is adequately protected.

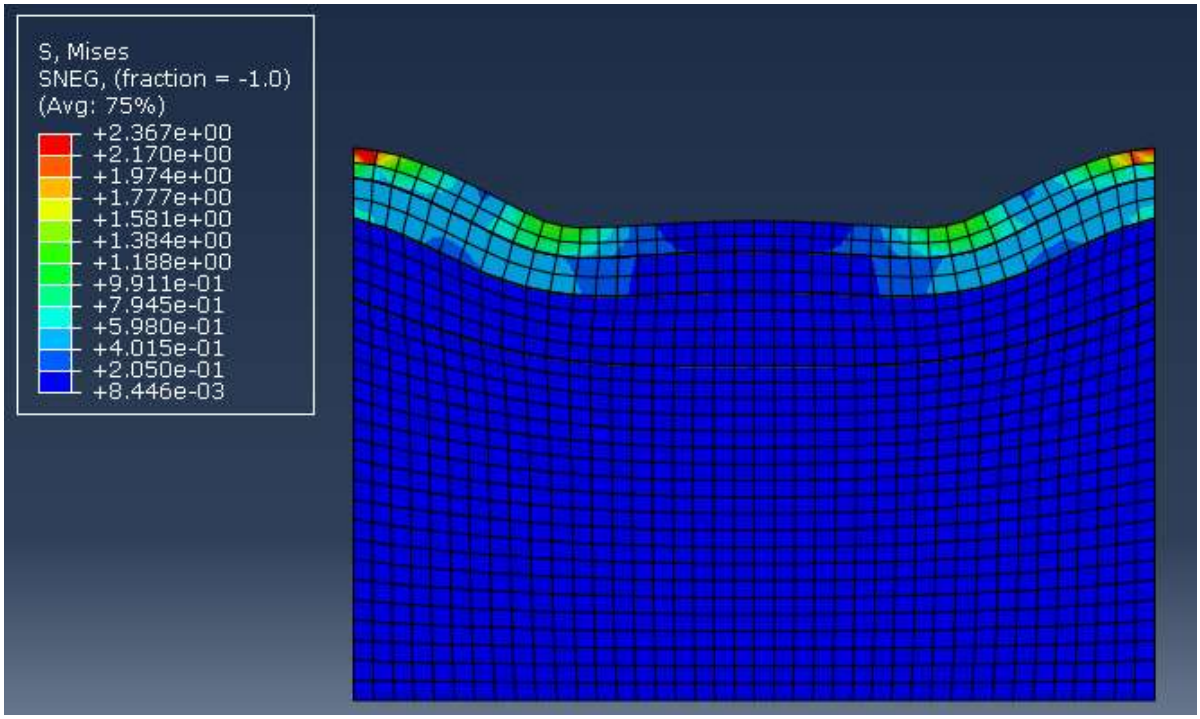
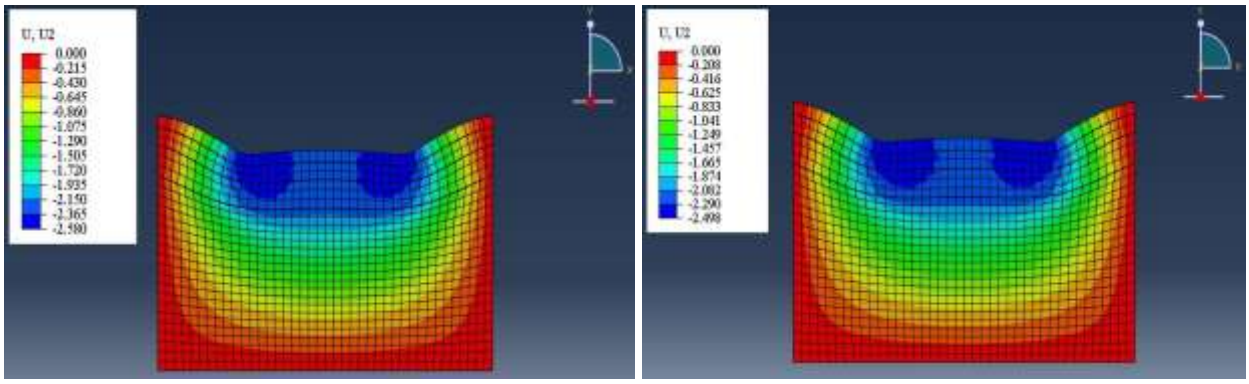


Figure 2 – Von Mises stress contour showing the progressive attenuation of stress through the pavement structure

Under the linear elastic assumption the two pavements behave almost identically (Table 2). The BOF slag pavement shows a slightly larger maximum rutting depth, 2.58 mm against 2.49

mm, an increase of 3.6 %, which follows directly from the lower effective stiffness of the near-surface system and the correspondingly higher vertical compliance under the same load. At the same time the peak von Mises stress is 11.5 % lower, 1.31 MPa against 1.48 MPa, because the reduced stiffness contrast between the wearing course and the base course changes the load-spreading trajectory and smooths the stress field in the critical load transfer zones.



A) *B)*

Figure 3 – Rutting depth contours under the linear elastic assumption: A) BOF slag pavement; B) traditional pavement

The viscoelastic analysis leads to the same conclusion (Table 2). The rutting depth of the BOF slag pavement exceeds that of the traditional pavement by 4.5 %, 2.53 mm against 2.42 mm, which is explained by the slightly higher time-dependent compliance of the BOF slag mixture and the resulting accumulation of viscoelastic strain under repeated loading. The peak von Mises stress is again lower by 11.3 %, 1.41 MPa against 1.59 MPa. Accumulated plastic strain in the BOF slag pavement is 11.0 % higher, which indicates that viscoelastic relaxation redistributes the load and limits local stress concentrations at the cost of a gradual concentration of strain.

Table 2 – Response of the two pavements under the elastic and the viscoelastic assumption

Assumption	Response parameter	Traditional pavement	BOF slag pavement	Change, %
Elastic	Maximum rutting depth, mm	2.49	2.58	+3.6
Elastic	Peak von Mises stress, MPa	1.48	1.31	-11.5
Viscoelastic	Maximum rutting depth, mm	2.42	2.53	+4.5
Viscoelastic	Peak von Mises stress, MPa	1.59	1.41	-11.3

The viscoelastic model predicts slightly smaller deformations than the elastic one for both structures, which shows that an elastic analysis remains conservative for this type of pavement. The rutting profiles of the two structures are practically parallel over the whole wheel path and differ only near the wheel centreline (Figure 4).

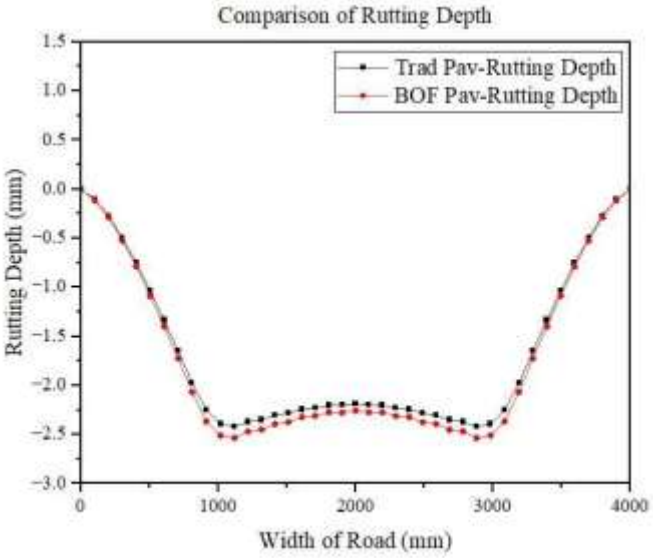


Figure 4 – Rutting depth profiles of the traditional and BOF slag pavements

Since only the wearing course modulus was changed between the two configurations, the results can be generalised by expressing the response R as a power function of the surface stiffness E, $R = R_0 (E / E_0)^n$, in which the dimensionless exponent follows from the two computed states:

$$n = \ln (R_2 / R_1) / \ln (E_2 / E_1), \quad (4)$$

The reduction of the wearing course modulus by 36 %, from 3340 MPa to 2135 MPa, gives n = -0.08 for the rutting depth under the elastic assumption and n = -0.10 under the viscoelastic assumption, and n = +0.27 for the peak von Mises stress in both cases. All three exponents are an order of magnitude smaller than unity, that is the global response is close to insensitive to the stiffness of the surface layer: extrapolating the power law, a tenfold reduction of the surface modulus would increase the rutting depth by only about 20 %. This quantifies why the loss of stiffness caused by the BOF slag has so little structural consequence and gives a design rule independent of the moduli measured here.

The stiffness reduction adopted here is conservative with respect to the published data: steel slag has repeatedly been reported to increase the Marshall stability and the mechanical strength of hot mix asphalt when it replaces natural coarse aggregate [4, 5], whereas the local mixture gave a dynamic modulus at the lower end of the reported range. The computed response is therefore an upper bound of the deformation and a lower bound of the performance to be expected in the field.

The practical scale follows from the geometry of the layer: a wearing course 120 mm thick on a carriageway 7 m wide contains about 840 m³ per kilometre, close to 2000 t of mixture, so that with a coarse fraction of about 40 % some 800 t of natural crushed stone are replaced per kilometre of road. The annual BOF slag output of the domestic converter production, of the order of hundreds of thousands of tonnes, is sufficient for several hundred kilometres of wearing course per year.

In engineering terms the differences of 3.6-4.5 % in rutting and of about 11 % in peak stress are small against the normal scatter of material properties and construction quality: the wearing course governs contact stresses, surface durability and skid resistance rather than the load-bearing capacity of the structure, so the loss of stiffness is not a structural disadvantage.

Three limitations should be kept in mind. The shell element idealisation and the linear constitutive laws reproduce the stress and displacement fields but describe neither damage accumulation nor viscoplastic flow, so the values reported are structural responses and not service life predictions. The comparison was made at 20 °C, whereas the difference between the mixtures

is largest at the extremes of the local climatic range. Finally, the volumetric stability of the slag has to be confirmed by a potential expansion test and its higher specific gravity requires the mixture to be redesigned on a volumetric basis.

Conclusions

1. The finite element model of a four-layer flexible pavement built in ABAQUS 2021 reproduces published benchmark results with a deviation of 1.32 % in the predicted rutting depth, which confirms its reliability for both elastic and viscoelastic analysis with a Prony series representation of the relaxation modulus.

2. Replacing the coarse aggregate of the wearing course with BOF slag increases the maximum rutting depth by 3.6 % under the elastic and by 4.5 % under the viscoelastic assumption, both small relative to the scatter normally accepted in pavement design.

3. The peak von Mises stress in the BOF slag pavement is lower by 11.5 % in the elastic analysis and by 11.3 % in the viscoelastic analysis, which indicates a more uniform load transfer and a reduced stress concentration at the critical interfaces.

4. The sensitivity of the structure to the surface layer is described by a power law with the exponents -0.08 and -0.10 for the rutting depth and +0.27 for the peak stress. The global response is therefore close to insensitive to the stiffness of the wearing course, which is the mechanical reason why a mixture of lower modulus remains acceptable in this position and why the result can be transferred to other slag mixtures.

5. BOF slag can therefore be regarded as a technically viable and sustainable substitute for natural coarse aggregate in asphalt concrete wearing courses, replacing about 800 t of crushed stone per kilometre of a two-lane carriageway and supporting circular economy principles in Kazakhstani road construction. Two conditions apply: the volumetric stability of the slag must be confirmed by an expansion test, and the mixture must be redesigned volumetrically because of the higher specific gravity of the slag. Observation of instrumented test sections is needed before the material enters normative documents.

List of references

1. Asphalt Pavement Alliance. Perpetual Pavements: A Synthesis. - Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association, 2020.

2. OECD/ITF. ITF Transport Outlook 2021. - Paris: OECD Publishing, 2021.

3. World Steel Association. World Steel in Figures 2023. - Brussels: worldsteel, 2023.

4. Ahmedzade P., Sengoz B. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete // Journal of Hazardous Materials. - 2009. - Vol. 165. - P. 300-305.

5. Pasetto M., Baldo N. Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags // Journal of Hazardous Materials. - 2010. - Vol. 181. - P. 938-948.

6. Yildirim I.Z., Prezzi M. Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag // Advances in Civil Engineering. - 2011. - Vol. 2011. - Article ID 463638.

7. Liu P., Wang D., Otto F., Oeser M. Application of semi-analytical finite element method to analyze asphalt pavement response under heavy traffic loads // Journal of Traffic and Transportation Engineering. - 2017. - Vol. 4, No. 2. - P. 206-214.

8. Wang H., Al-Qadi I.L., Stanciulescu I. Simulation of tyre-pavement interaction for predicting contact stresses at static and various rolling conditions // International Journal of Pavement Engineering. - 2017. - Vol. 13, No. 4. - P. 310-321.

9. Khavandi Khiavi A., Moghaddas Nejad F. Evaluation of rutting performance of reinforced asphalt pavement with geosynthetics using finite element method // Road Materials and Pavement Design. - 2018. - Vol. 19, No. 6. - P. 1422-1437.

10. Amin A. et al. FEM modeling for enhancing fatigue strength of asphalt pavements through an optimum tack coat layer insertion // Construction and Building Materials. - 2023. - Vol. 378. - P. 131234.

11. Sinha A.K., Havanagi V.G., Mathur S. Evaluation of flexible pavement with industrial waste subbase // International Journal of Pavement Engineering. - 2014. - Vol. 15, No. 1. - P. 34-45.

12. Р РК 218-130-2016. Рекомендации по проектированию конструкций дорожных одежд. - Астана, 2016. / R RK 218-130-2016. Recommendations for the Design of Road Pavement Structures. – Astana, 2016.

13. Yoo P.J., Al-Qadi I.L. Effect of transient dynamic loading on flexible pavements // Transportation Research Record. - 2007. - Vol. 1990. - P. 129-140.

14. Bouacha N., Bouguerra A., Bouafia A. Improving the resilience of the road network in Algeria: a comparative analysis of flexible, geosynthetically reinforced and rigid pavements // Sustainability. - 2023. - Vol. 15, No. 4. - P. 3456.

15. Schwartz C.W., Li R., Kim S., Ceylan H., Gopalakrishnan K. Sensitivity evaluation of MEPDG performance prediction // NCHRP Report. - 2011. - P. 1-47.

16. ASTM D4792. Potential expansion of aggregates from hydration reactions. - ASTM International, 2019.

Information on the authors:

Нугманова Асель Улановна – Ғылыми-зерттеу орталығы директорының орынбасары, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ (ҚазжолҒЗИ), Астана, Қазақстан, a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Цао Жунцзи – Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Нанкин, Қытай, crj@jsti.com

Нугманова Асель Улановна – Заместитель директора R&D-центра, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КаздорНИИ), Астана, Казахстан, a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Цао Жунцзи – Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Нанкин, Китай, crj@jsti.com

Assel Nugmanova – Deputy Director of the R&D Center, JSC “Kazakhstan Road Research Institute” (KazDorNII), Astana, Kazakhstan, a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Cao Rongji – Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Nanjing, China, crj@jsti.com

Contribution of authors:

Assel Nugmanova: conceptualization, methodology, resources, data collection, experimental testing, analysis, visualization, writing, and manuscript review and editing

Cao Rongji: methodology, resources, experimental testing, analysis, interpretation, manuscript review and editing, and supervision.

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

Use of Artificial Intelligence (AI): No artificial intelligence tools were used in the preparation of this article.

НЕГІЗГІ ОТТЫҚ ПЕШ ҚОЖЫН ІРІ ТОЛТЫРҒЫШ РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ШЕКТІК ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІМЕН ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Асель Нугманова[1,*], Цао Жунцзи[2]

[1] «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ (ҚазжолҒЗИ), Астана, Қазақстан
[2] Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Нанкин, Қытай
[*]Корреспондент-автор: a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Аңдатпа. Болат өндірудің жанама өнімдерін жол құрылысында пайдалану бастапқы табиғи толтырғыштарға деген сұранысты азайтып, жол саласында айналмалы экономика қағидаттарын дамытуға ықпал етеді. Бұл жұмыста асфальтбетон жабынының конструкциялық тиімділігі бағаланды, мұнда жоғарғы қабаттың ірі толтырғышы негізгі отттық пеш (Basic Oxygen Furnace, BOF) қожымен алмастырылды. ABAQUS 2021 бағдарламасында төрт қабатты иілгіш жол жабыны сызықтық серпімді және сызықтық тұтқыр-серпімді конститутивтік модельдер негізінде модельденді. Тұтқыр-серпімді модельдеу кезінде зертханалық деректерге сәйкестендірілген Williams–Landel–Ferry ығысу функциясы бар төрт мүшелі Prony қатары қолданылды. Модель жарияланған эталондық нәтижелермен салыстырылып, максималды колея тереңдігі бойынша ауытқу 1,32 % құрады. Дәстүрлі ұсақ түйіршікті қиыршықтас беткі қабаты бар жабын (20 °C температурада E = 3340 МПа) BOF қожымен түрлендірілген жабынмен (20 °C температурада E = 2135 МПа) салыстырылды. Серпімді модель жағдайында колея тереңдігі тиісінше 2,49 мм және 2,58 мм (3,6 %), ал тұтқыр-серпімді модель жағдайында 2,42 мм және 2,53 мм (4,5 %) болды. Бұл ретте ең жоғары von Mises кернеуі екі жағдайда да BOF қожы қолданылған жабында төмен болды: сәйкесінше 1,31 МПа және 1,48 МПа, сондай-ақ 1,41 МПа және 1,59 МПа. Конструкцияның беткі қабатқа сезімталдығы дәрежелік заңмен сипатталады: колея тереңдігі серпімді модель жағдайында жабынның жоғарғы қабатының модуліне -0,08 дәрежесіне, ал тұтқыр-серпімді модель жағдайында -0,10 дәрежесіне пропорционал; ең жоғары кернеу +0,27 дәрежесіне сәйкес өзгереді. Осылайша, беткі қабаттың қаттылығының 36 %-ға төмендеуі конструкцияның жауап реакциясын 5 %-дан аз мөлшерде өзгертеді. Екі жолақты жүріс бөлігінің 1 км жоғарғы қабатында табиғи ұсақталған тастың шамамен 800 тоннасын алмастыруға болады. Сондықтан BOF қожын жоғарғы қабат қоспалары үшін техникалық тұрғыдан жарамды және тұрақты толтырғыш алмастырғыш ретінде қарастыруға болады, алайда оны жол жабынына төсеу алдында қождың көлемдік тұрақтылығын міндетті түрде тексеру қажет.

Түйін сөздер: негізгі отттық пеш қожы, асфальтбетон жабыны, ақырлы элементтерді талдау, тұтқыр-серпімді мінез-құлық, колея түзілуі, тұрақты жол-құрылыс материалдары

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЗАМЕНЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ШЛАКОМ ОСНОВНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ПЕЧИ

Асель Нугманова[1,*], Цао Жунцзи[2]

[1] АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КаздорНИИ), Астана, Казахстан
[2] Jiangsu Transportation Institute Group Co., Ltd. (JSTI Group), Нанкин, Китай
[*]Корреспондент-автор: a.nugmanova@qazjolgzi.kz

Аннотация. Использование побочных продуктов сталеплавильного производства в дорожном строительстве снижает потребность в первичных природных заполнителях и способствует развитию принципов циркулярной экономики в дорожной отрасли. В данной работе проведена оценка конструкционной эффективности асфальтобетонного дорожного покрытия, в котором крупный заполнитель верхнего слоя заменен шлаком основной кислородной печи (Basic Oxygen Furnace, BOF). Четырехслойная конструкция нежесткого дорожного покрытия была смоделирована в ABAQUS 2021 с использованием линейно-упругого и линейно-вязкоупругого законов поведения материала. При вязкоупругом моделировании применялся четырехчленный ряд Пронни с функцией сдвига Williams–Landel–Ferry, аппроксимированной по лабораторным данным. Модель была валидирована по опубликованным эталонным результатам; отклонение по максимальной глубине колеи составило 1,32 %. Традиционное покрытие со слоем из мелкозернистого гравия (E = 3340 МПа при 20 °C) сравнивалось с покрытием, модифицированным BOF-шлаком (E = 2135 МПа при 20 °C). Глубина колеи составила 2,49 и 2,58 мм при упругом допущении (3,6 %) и 2,42 и 2,53 мм при вязкоупругом допущении (4,5 %) соответственно. При этом пиковое напряжение по Мизесу в покрытии с BOF-шлаком было ниже в обоих случаях: 1,31 МПа против 1,48 МПа и 1,41 МПа против 1,59 МПа соответственно. Чувствительность конструкции к свойствам поверхностного слоя описывается степенным законом: глубина колеи зависит от модуля верхнего слоя покрытия в степени -0,08 при упругом и -0,10 при вязкоупругом допущении, тогда как пиковое напряжение изменяется в степени +0,27. Таким образом, снижение жесткости поверхностного слоя на 36 % изменяет конструкционный отклик менее чем на 5 %. На масштабе двухполосной проезжей части такая замена позволяет заменить около 800 т природного дробленого камня на каждый километр верхнего слоя покрытия. Следовательно, BOF-шлак может рассматриваться как технически пригодный и устойчивый заменитель заполнителя для смесей верхнего слоя при условии предварительной проверки его объемной стабильности перед укладкой.

Ключевые слова: шлак основной кислородной печи, асфальтобетонное покрытие, анализ методом конечных элементов, вязкоупругое поведение, колееобразование, устойчивые дорожные материалы



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

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

РАЗРУШЕНИЕ ПОДХОДОВ К МОСТОВЫМ СООРУЖЕНИЯМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЕСЕННИХ ПАВОДКОВЫХ ВОД

Шалкар Кайсар[1,*], Мурованный Игорь[2], Шалкаров Абдиашим[2]

[1]Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова,
[2]АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КаздорНИИ),
Астана, Казахстан
[*]Корреспондент-автор: k.shalkar@qazjolgzi.kz

Аннотация. В работе рассмотрены результаты обследовательских работ мостовых сооружений на республиканских и местных автомобильных дорогах Актюбинской области. Целью исследования является устранению разрушений подходов к мостовому сооружению, произошедших в 2024 году после весенних паводковых вод. В работе для обследования впервые в Казахстане были применены беспилотные летающие аппараты, а также для определения глубины реки эхолоты. По результатам обследования и инструментальной съемки мостового сооружения оценено техническое состояние мостового сооружения и даны рекомендации по дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: весенние паводковые воды, разрушение, подходы к мостовым сооружениям, инструментальные измерения, обследование.

Введение

В последние годы в республике ежегодно происходят паводки и катастрофические наводнения. Как показывает анализ чрезвычайных ситуаций, в период с 2010 по 2024 годы в республике наблюдается увеличение числа весенних паводков, по сравнению с предыдущими годами. Вместе с тем, с увеличением числа паводковых явлений с каждым годом наблюдается ростмасштаба и ущерба от чрезвычайных ситуаций гидрологического характера.

Паводки 2024 года стали самым крупным по масштабу стихийным бедствием в Казахстане за последние 80 лет. Об этом, 6 апреля 2024 г., заявил президент страны Касым-Жомарт Токаев в телевизионном обращении к народу Казахстана [1].

В осуществлении комплекса аварийных действий по всей стране было задействовано более 40 тыс. человек: помимо аварийно-спасательных служб и полиции, в них приняли участие также военные, персонал коммунальных предприятий и многочисленные добровольцы среди населения. Общее количество задействованной в устранении последствий наводнения и процессе эвакуации людей техники, включая лодки и водооткачивающие машины составило более 4,5 тыс. единиц.

Ущерб республике нанесен значительный: эвакуировать пришлось примерно 100 тыс. человек. Около 11 млрд тенге были выплачены в качестве компенсации пострадавшим семьям, а более 15 тыс. домов –требует осмотра и экспертной оценки пригодности для проживания. Начаты восстановительные и строительные работы – в процессе возведения тогда уже находилось примерно 1,5 тыс. домов. Бизнес тоже не без потерь перенес катастрофу – были приняты и обработаны заявки на сумму около 21 млрд. [2].

В результате паводковых вод были полностью разрушены подходные насыпи мостового сооружения через реку Жем Кандагачском районе в Актюбинской области, через реку Есиль Жаксинском районе Акмолинской области, в ликвидациях которых непосредственно участвовали сотрудники АО «КаздорНИИ».

Методология

Мост через реку Жем на км 92+100 автомобильной дороги «Кандыагаш – Эмба – Шалкар – Иргиз» на подъезде к п. Эмба был построен и сдан в эксплуатацию в 1978 году. Обследование производился согласно требованиям СП РК 3.03-113-2014[3]. Проектная и исполнительная документация на строительство не сохранилась. Сведения о проведенных ремонтах отсутствуют.

Мостовой переход расположен на участке дороги III категории и предназначен для пропуска 2-х полос движения во встречных направлениях. В плане мост находится на прямой, в профиле – на горизонтальной площадке. Группа дорожных условий по ГОСТ 31994-2013[4] на участке расположения моста – «Д».

Схема моста в полных длинах пролетов 5х18,00 м. Полная длина 92,20 м. Фактическая ширина проезда составляет 10,00 м. Двусторонние тротуарные проходу шириной по 0,9 м устроены на железобетонных тротуарных блоках.

Пролетные строения выполнены из пустотных плит (12 плит в поперечном сечении, расставленных с шагом 1.0 м) высотой 0,75 м по типовому проекту серии 3.503.12, инв. №384/43 (ГПИ Союздорпроект, 1973 г.).

Концевая опора № 1 обсыпного типа стоечная однорядная на стойках 30х35х180 см в количестве 7 шт. опираются на свайный ростверк. Поверху стоек устроена железобетонная насадка сечением 12,5х0,9х0,7 м и шкафная стенка с обратными открылками.

Концевая опора № 6 обсыпного типа, стоечная, козлового типа на стойках 30х35х270 см в количестве 14 шт., расположенных в два ряда, опирающихся на свайный ростверк. Поверху стоек устроена железобетонная насадка высотой 0,9 м, шириной 1,5 м и шкафная стенка.

Тело массивных промежуточных опор изготовлено из облицовочных блоков по типовому проекту Киевского филиала Союздорпроекта, вып. 143-144. Высота блоков – 0,5 м. Оголовок промежуточных опор выполнен в виде двухблочного сборно-монолитного железобетонного ригеля. Фундамент опор по всей видимости выполнен на низком свайном ростверке и будет уточнен при повторном обследовании после ухода высоких вод.

В узлах опирания железобетонных пролетных строений установлены металлические рельсы.

Сопряжение проезжей части моста с проезжей частью в пределах насыпи подходов выполняется с помощью переходных плит, изготавливаемых, по типовому проекту серии 3.503.1-96. Плиты располагаются на ширине габарита проезжей части моста.

Одежда мостового полотна многослойная общей толщиной 20 см. Покрытие состоит из: выравнивающего слоя, гидроизоляции, защитного слоя бетона, армированного металлической сварной сеткой. Толщина и материал гидроизоляции не установлены. Асфальтобетонное покрытие толщиной 10 см состоит из двух слоев асфальтобетона. Покрытие на служебных тротуарных проходах не предусмотрено проектом.

Деформационные швы в количестве 6 шт. устроены над каждой опорой и закрытого типа.

Боковые ограждение безопасности – бетонные парапетные в составе тротуарных блоков. Высота ограждения от уровня проезда составляет 0,4 м. Энергоемкость ограждения

оценивается величиной 100 кДж. Перильное ограждение со стороны тротуаров – металлическое сварное секционное, высотой 1,0 м.

Результаты и обсуждение

Конуса вокруг крайних опор укреплены железобетонными плитами. Русло реки Жем на момент обследования проходило под всеми пролетами, ширина зеркала составляла 75 м, скорость течения – 0,2 м/с.

Конуса насыпей на обоих подходах находятся в аварийном состоянии. В результате критического паводка произошел размыв конуса насыпи вокруг опоры № 1 с левой (верховой) стороны моста с частичным оголением фундамента (см. рисунок 1). На момент обследования были видны стойки, верх и низ ростверка с левой стороны и свайный фундамент.



Рисунок 1 – Разрушение конуса насыпи вокруг опоры № 1 с верховой стороны

Разрушение берегоукрепительных конструкций вокруг крайней опоры № 6 произошло в основном с низовой стороны. Паводковыми водами был полностью вымыт грунт из-под насадки, облегченной части тела опоры и вокруг ростверка. В результате последующего вымывания и удаления насыпи произошло дальнейшее осыпания грунта из-под переходных плит с образованием пустот за шкафной стенкой (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Размыв грунта вокруг опоры № 6 с низовой стороны и образование пустот в теле насыпи

На момент обследования были видны стойки, верх ростверка с правой стороны, шкафная стенка и переходные плиты со стороны подхода № 2.

Более точную информацию о степени общего размыва дна реки и местного размыва грунта вокруг фундаментов промежуточных опор возможно будет получить после окончания паводка при повторном обследовании.

При обследовании выполнена геодезическая съемка мостового полотна (продольного профиля проезжей части), характерных отметок элементов опор. При измерениях использовался сертифицированный и поверенный электронный тахеометр Leica Flex Line TS03 5’’ R500 (свидетельство о поверке № QE-01-25689, действительно до 27.06.24 г.).

На мостовом полотне контролировались продольные створы по концам пролетов, при этом в каждом створе было отснято по три точки: одна по оси проезжей части и 2 на каждом из тротуаров. Съемка опор производилась по верхней грани верхнего блока тела опоры во всех четырех углах конструкции, по верху ригеля и видимой части фундаментов. Высотное положение пролетных строений контролировались по низу конструкции крайних плит (П1 и П12) в опорных сечениях. Съемки проводились при хорошей видимости и отсутствии значимых помех.

Система высотных отметок – условная, за реперную отметку 50,00 м принята отметка нижней грани плиты П12 на опоре №1 (см. рисунок 3).

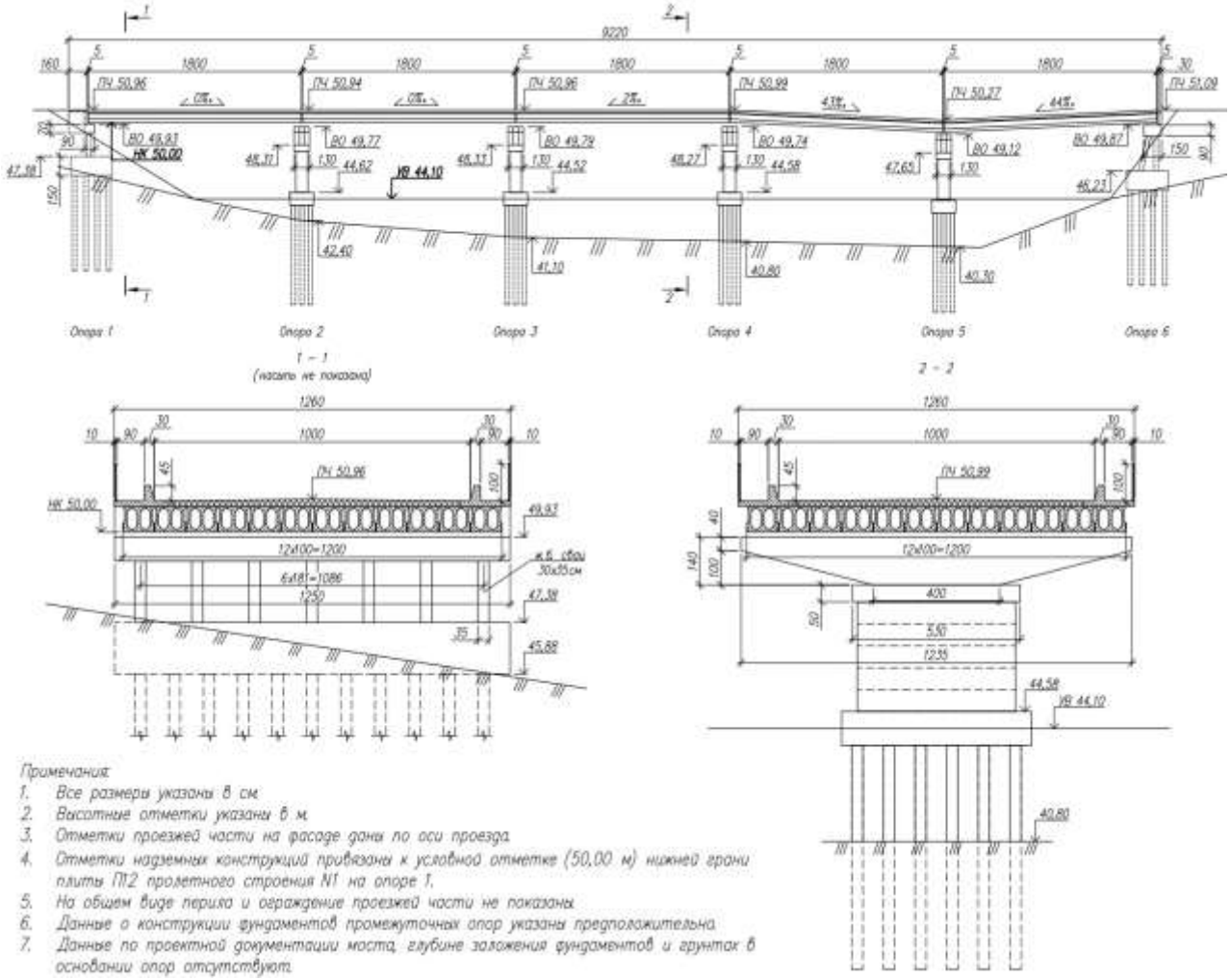
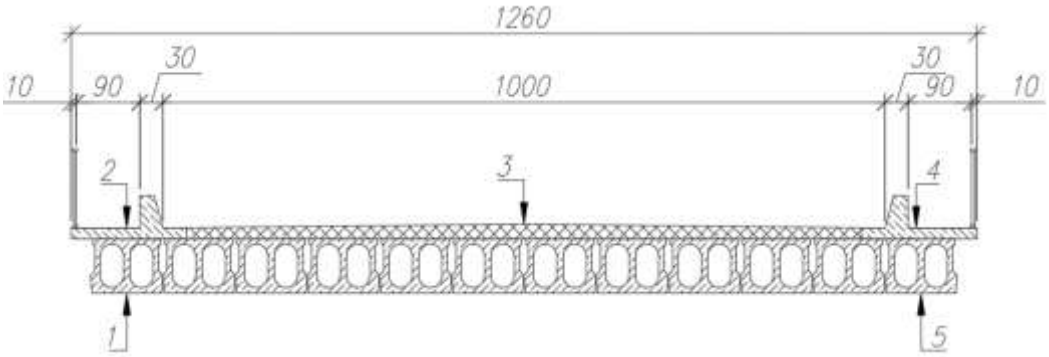


Рисунок 3 – Схема моста

Итоговые высотные отметки контролируемых точек проезжей части, отметок опор, уреза воды, подмостового пространства, значения продольных уклонов проезжей части приведены на графической схеме общего вида (см. рисунок 3), отметки проезжей части и низа конструкций – в таблице 1.

Таблица 1 – Отметки проезжей части и низа конструкции



Створ		1	2	3	4	5
Опора 6	ПС5	50.00	51.00	51.09	51.00	50.03
Опора 5	ПС5	**49.19**	**50.16**	50.27	**50.26**	**49.29**
	ПС4	**49.19**				**49.30**
Опора 4	ПС4	49.99	51.00	50.99	51.01	50.03
	ПС3	50.02				50.05
Опора 3	ПС3	49.98	50.96	50.96	50.99	50.03
	ПС2	49.98				50.03
Опора2	ПС2	49.97	50.96	50.94	50.99	50.04
	ПС1	49.96				50.05
Опора 1	ПС1	49.99	50.95	50.95	50.98	50.00

Анализ данных из таблицы 1 показывает, что на проезжей части моста водоотвод затруднен и не упорядочен из-за фактически отсутствия продольных уклонов. В совокупности с дефектом скопления грязевых отложений на полосах безопасности можно сделать вывод, что уклоны покрытия проезжей части не обеспечивают требуемый отвод воды с сооружения. Зафиксированная просадка уровня проезжей части (на момент обследования) над опорой № 5 составила 0,76 м.

Высотное положение опор фиксировались измерением верхнего блока тела опоры и верха ригеля по всем четырем углам конструкции. Схема расположения контролируемых точек конструкции представлена на рисунке 4, результаты измерений – в таблице 2.

Таблица 2 – Значения характерных высотных отметок опор, м

	1	2	3	4
Опора 6	49.81	–	–	49.87
Опора 5	**48.92**	**47.56**	**47.65**	**49.12**
Опора 4	49.61	48.24	48.27	49.74
Опора 3	49.66	48.25	48.33	49.79
Опора 2	49.71	48.29	48.31	49.76
Опора 1	49.93	–	–	49.93

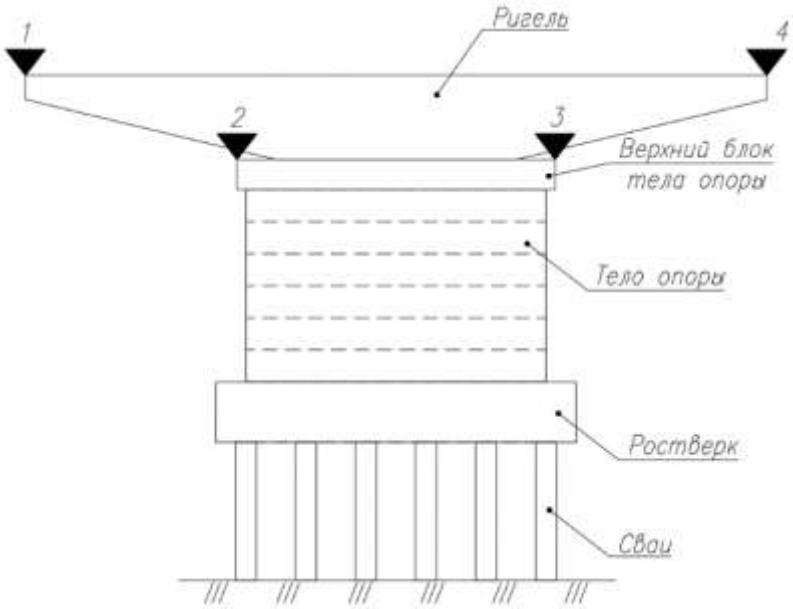


Рисунок 4 – Схема расположения контролируемых точек конструкции опор

В ходе анализа данных, полученных при обследовании установлено что, промежуточная опора №5 просела и получила крен. Полностью разрушен подходы к мостам. Необходимо отметить, что в створе опоры № 5 разница высотных отметок по левой и правой сторонам моста достигает ~10 см (левая сторона ниже правой), что свидетельствует о неравномерной просадке опоры № 5 с наклоном в левую сторону. Просадок других промежуточных опор в русле реки Жем не зафиксировано.

В ходе обследования сотрудниками АО «КазДорНИИ» определена глубина реки возле промежуточных опор. Измерения производились с моста с помощью эхолота марки Deeper pro+ 2 и специализированного программного обеспечения Fish Deeper App на базе устройства iOS (см. рисунок 5).



Рисунок 5 – Эхолот Deeper pro+ 2 и скриншот из программы Fish Deeper App в момент измерения глубины возле опоры № 5

Осредненные значения глубины реки возле каждой из промежуточных опор представлены в таблице 4, полученные условные высотные отметки дна реки даны на рисунке 3.

Таблица 4 – Глубина реки в створе промежуточных опор

Опора	Опора 2	Опора 3	Опора 4	Опора 5
Глубина, м	1,7	3,0	3,3	3,8

Полученные величины свидетельствуют о том, что общий размыв дна в русле реки достаточно равномерный, наиболее вероятной причиной просадки опоры № 5 является образование сверхнормативного местного размыва вокруг фундамента этой опоры из-за прохождения основного водного потока в данном месте.

Заключение

1. Произведено обследование мостового сооружения через реку Жем в Актюбинской области, поврежденного воздействием весенних паводковых вод в марте-апреле 2024 года.

2. При обследовании мостового сооружения выполнены следующие виды работ:

- Произведены обмеры и обследование конструкций проезжей части, выполнена геодезическая съемка элементов проезжей части моста при помощи электронного тахеометра марки Leica Flex Line TS03 5’’ R500;

- Обследованы, произведены замеры и определен тип железобетонных плит пролетных строений моста;

- Произведена геодезическая съемка крайних и промежуточных опор моста при помощи вышеназванного электронного тахеометра, для определения их возможного крена в результате размыва дна русла реки и силового воздействия паводковых вод;

- Произведены промеры дна русла реки Жем вокруг фундаментов промежуточных опор при помощи эхолота марки Deeper pro+ 2 и специализированного программного обеспечения Fish Deeper App на базе устройства iOS;

- Определено проседание промежуточной опоры № 5 в результате размыва дна русла реки вокруг фундаментов этой опоры.

3. По результатам обследования и инструментальной съемки мостового сооружения оценено техническое состояние мостового сооружения:

- конструкции мостового полотна и само покрытие, толщина которого 20 см, не соответствуют требованиям нормативных документов. Фактическая высота ограждения проезжей части составляет 40 см при требуемой высоте 75 см. За счет осадки опоры № 5 образовались поперечные трещины в асфальтобетонном покрытии шириной до 10 см над опорами № 4 и № 6. Имеются поперечные трещины и над другими промежуточными опорами с меньшим их раскрытием;

- состояние железобетонных плит следует признать удовлетворительным. Имеют место повреждения бетона торцов некоторых плит в результате протечек через деформационные швы. Однако данные дефекты не оказывают влияния на несущую способность этих несущих конструкций.

Опорные части, установленные под плитами пролетных строений на всех опорах моста выполнены в виде металлических рельсов, что не соответствует современным нормативным требованиям.

В результате воздействия паводковых вод, произошла просадка промежуточной опоры № 5 на 0,76 м с поперечным наклоном около 10 см в левую сторону. Оседание опоры № 5 произошло из-за сверхнормативного местного размыва вокруг фундаментов этой

опоры, вследствие прохождения основного водного потока в данном месте. Произошло оголение тела свай, что привело к снижению их несущей способности по грунту. Под воздействием собственного веса пролетных строений и тела опоры произошло вдавливание свай в грунт, что и вызвало осадку промежуточной опоры № 5.

Состояние крайних опор неудовлетворительное, зафиксированы обрушения ограждающих защитных стенок (открылков) из-за деградационного разрушения бетона вследствие отсутствия водоотводных конструкций на подходах.

Конуса насыпей на обоих подходах находятся в предаварийном состоянии. В результате критического паводка произошел размыв конуса насыпи вокруг опоры № 1 с левой (верховой) и опоры № 6 с правой (низовой) стороны моста с частичным оголением фундамента. У опоры № 6 был полностью вымыт грунт из-под насадки, облегченной части тела опоры и вокруг ростверка, в результате чего произошло образование пустот за шкафной стенкой и под переходными плитами.

4. По результатам обследования техническое состояние несущих конструкций моста, поврежденного паводковыми водами, признано аварийным.

В соответствии с таблицей 4.12 Р РК 218-144-2018 [5] срок службы элементов мостового сооружения составляет:

- покрытие, сопряжение моста с насыпью, система водоотвода, ограждение ездового полотна, деформационные швы – 20 лет;
- тротуары, перильное ограждение, гидроизоляция – 40 лет;
- железобетонных сборных пролетных строений с обычной арматурой – 50 лет;
- опоры, облицованные бетоном – 50 лет.

Учитывая техническое состояние моста и продолжительные сроки службы элементов мостового сооружения (срок службы моста через реку Жем составляет 47 лет) следует разработать проектно-сметную документацию и построить новый мост.

Список литературы

1. Обращение Президента Республики Казахстан К.К. Токаева к народу Казахстана в связи с тяжелой ситуацией из-за паводков [Электронный ресурс]. – URL: https://www.akorda.kz/ru/obrashchenie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-v-svyazi-s-tyazheloy-situaciey-iz-za-pavodkov-634424 (дата обращения: 10.09.2026).

Address of the President of the Republic of Kazakhstan K.K. Tokayev to the People of Kazakhstan in Connection with the Severe Flood Situation. Available at: https://www.akorda.kz/ru/obrashchenie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-v-svyazi-s-tyazheloy-situaciey-iz-za-pavodkov-634424 (accessed September 10, 2026).

2. Паводки 2024 года: во сколько обошлись компенсации ущерба и восстановление // Inbusiness.kz. – 25.12.2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://inbusiness.kz/ru/news/pavodki-2024-goda-vo-skolko-oboshlis-kompensacii-usherba-i-vosstanovlenie (дата обращения: 10.09.2026).

Floods of 2024: Cost of Damage Compensation and Recovery // Inbusiness.kz. – December 25, 2024. Available at: https://inbusiness.kz/ru/news/pavodki-2024-goda-vo-skolko-oboshlis-kompensacii-usherba-i-vosstanovlenie (accessed September 10, 2026).

3. СП РК 3.03-113-2014. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Астана, 2015.

SP RK 3.03-113-2014. Mosty i truby. Pravila obsledovanii i ispytanii [Bridges and Culverts. Rules for Inspection and Testing]. – Astana, 2015.

4. ГОСТ 31994-2013. Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования. – Москва, 2013.

GOST 31994-2013. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Ograzhdeniya dorozhnye uderzhivayushchie bokovye dlya avtomobilei. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya [Technical Means of Traffic Management. Roadside Vehicle Restraint Barriers. General Technical Requirements]. – Moscow, 2013.

6. Р РК 218-144-2018. Рекомендации по назначению межремонтных сроков конструктивных элементов автомобильных дорог, в том числе обстановки пути после строительства, реконструкции, капитального, среднего и текущего ремонта. – Астана, 2018.

R RK 218-144-2018. Rekomendatsii po naznacheniyu mezhremontnykh srokov konstruktivnykh elementov avtomobilnykh dorog, v tom chisle obstanovki puti posle stroitelstva, rekonstruktsii, kapitalnogo, srednego i tekushchego remonta [Recommendations for Determining the Inter-Repair Periods of Road Structural Elements, Including Road Furniture, after Construction, Reconstruction, Major, Medium and Routine Repairs]. – Astana, 2018.

Сведения об авторах:

Шалкар Кайсар Абдиашимулы – Казахский автодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан, k.shalkar@qazjolgzi.kz.

Мурованный Игорь Юрьевич – Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан, igor.murovannyi@gmail.com.

Шалкаров Абдиашим Абджаппарович – Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан, a.shalkarov@qazjolgzi.kz

Шалкар Қайсар Абдиашимұлы – Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы, Қазақстан, k.shalkar@qazjolgzi.kz.

Мурованный Игорь Юрьевич – Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан, igor.murovannyi@gmail.com.

Шалкаров Абдиашим Абджаппарович – Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан, a.shalkarov@qazjolgzi.kz.

Shalkar Kaysar Abdiashimuly – L.B. Goncharov Kazakh Road Research Institute, Almaty, Kazakhstan, k.shalkar@qazjolgzi.kz.

Murovannyi Igor Yuryevich – Kazakhstan Road Research Institute, Almaty, Kazakhstan, igor.murovannyi@gmail.com.

Shalkarov Abdiashim Abdzhapparovich – Kazakhstan Road Research Institute, Almaty, Kazakhstan, a.shalkarov@qazjolgzi.kz.

Вклад авторов:

Шалкар Кайсар Абдиашимулы – концепция исследования, методология, сбор данных, проведение исследований, анализ результатов.

Мурованный Игорь Юрьевич – анализ и интерпретация результатов, визуализация, редактирование текста.

Шалкаров Абдиашим Абджаппарович – подготовка текста статьи, обзор литературы, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

КӨКТЕМГІ СУ ТАСҚЫНДАРЫ НӘТИЖЕСІНДЕ КӨПІР ҚҰРЫЛЫМДАРЫНА КЕЛЕТІН ЖОЛ ЖАҚЫНДАРЫНЫҢ БҰЗЫЛУЫ

Шалкар Кайсар[1,*], Мурованный Игорь[2], Шалкаров Абдиашим[2]

[1]Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты,
[2] «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ (ҚазжолҒЗИ), Астана, Қазақстан
[*]Корреспондент-автор: k.shalkar@qazjolgzi.kz

Аңдатпа. Жұмыста Ақтөбе облысының республикалық және жергілікті маңызы бар автомобиль жолдарындағы көпір құрылыстарына жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижелері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – 2024 жылы көктемгі су тасқындары нәтижесінде пайда болған көпір құрылыстарына келетін жол жақтарының бұзылуын жою. Зерттеу барысында Қазақстанда алғаш рет көпір құрылыстарын тексеру үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары, сондай-ақ өзеннің тереңдігін анықтау үшін эхолоттар қолданылды. Көпір құрылысына жүргізілген зерттеу және аспаптық түсіру нәтижелері бойынша оның техникалық жай-күйі бағаланып, одан әрі пайдалану бойынша ұсынымдар берілді.

Түйін сөздер: көктемгі су тасқындары, бұзылу, көпір құрылыстарына келетін жол жақтары, аспаптық өлшеулер, зерттеу.

DAMAGE TO APPROACHES TO BRIDGE STRUCTURES AS A RESULT OF SPRING FLOODWATERS

Shalkar Kaysar[1,*], Murovannyi Igor[2], Shalkarov Abdiashim[2]

[1]L.B. Goncharov Kazakh Road Research Institute,
[2]JSC “Kazakhstan Road Research Institute” (KazdorNII), Astana, Kazakhstan
[*]Corresponding author: k.shalkar@qazjolgzi.kz

Abstract. This paper presents the results of surveys of bridge structures located on national and local roads in the Aktobe Region. The aim of the study is to address the damage to approaches to bridge structures caused by spring floodwaters in 2024. During the survey, unmanned aerial vehicles were used for the first time in Kazakhstan to inspect bridge structures, while echo sounders were used to determine the depth of the river. Based on the results of the survey and instrumental measurements of the bridge structure, its technical condition was assessed, and recommendations for further operation were developed.

Keywords: spring floodwaters, damage, approaches to bridge structures, instrumental measurements, survey.

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

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

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРАКТНЫХ МОДЕЛЕЙ FIDIC В ДОРОЖНЫХ ПРОЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН: ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИКИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ

Лоновенко Кирилл[1,*], Нугманова Асель[2]

[1]Казахстанская национальная ассоциация профессиональных инженеров и консультантов (КНАПИК), Астана, Казахстан
[2]АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КаздорНИИ), Астана, Казахстан
[*]Корреспондент автор: **knapec2023@gmail.com**

Аннотация. В статье рассмотрены особенности применения типовых контрактных форм Международной федерации инженеров-консультантов (FIDIC) в проектах строительства и реконструкции автомобильных дорог Республики Казахстан. Цель исследования состоит в систематизации факторов, влияющих на практическую реализацию FIDIC в национальной институциональной среде, и формировании предложений по дальнейшему развитию контрактного администрирования без противопоставления международных стандартов и законодательства Республики Казахстан. Методология основана на качественном сравнительном анализе положений Красной, Желтой и Серебряной книг FIDIC, Золотых принципов FIDIC, действующей нормативной базы Республики Казахстан, практики инфраструктурных проектов и профессиональных подходов к управлению рисками, изменениями, сроками, платежами и спорами. Систематизированы десять аспектов применения FIDIC: согласование с национальным регулированием, бюджетными процедурами, распределением рисков в Особых условиях, полномочиями Инженера, контрактными компетенциями, управлением требованиями, готовностью проекта к тендеру, корректировкой цен, механизмами DAAB и ориентацией на жизненный цикл. Показано, что эффективность FIDIC определяется прежде всего качеством адаптации контрактной модели, проектной готовностью и дисциплиной исполнения. Предложены практические направления развития, включая типовые методические решения для дорожных проектов, совершенствование бюджетного сопровождения, развитие профессиональных компетенций, цифровое контрактное администрирование и более широкое применение механизмов раннего предотвращения споров.

Ключевые слова: FIDIC, договоры строительного подряда, автомобильные дороги, распределение рисков, Инженер, Особые условия, DAAB, корректировка цен, управление контрактами, жизненный цикл, Республика Казахстан.

Введение

Развитие транспортной инфраструктуры Республики Казахстан сопровождается реализацией крупных и технически сложных проектов строительства и реконструкции автомобильных дорог. Для таких проектов характерны значительная продолжительность, зависимость от сезонных условий, протяженность линейных объектов, наличие большого

количества инженерных сооружений, необходимость координации земельных, экологических и коммунальных вопросов, а также высокая чувствительность стоимости к изменению цен на строительные материалы, топливо, логистику и финансовые ресурсы. В этих условиях качество договорной модели становится одним из факторов, влияющих на сроки, стоимость, управляемость рисков и доказательность принимаемых решений.

Контрактные формы FIDIC получили международное распространение как структурированная система управления правами, обязанностями и рисками участников строительного проекта. Они не заменяют национальное законодательство и не представляют собой универсальный договор, который может применяться без адаптации. Напротив, Общие условия FIDIC предполагают разработку Особых условий с учетом правовой системы, характера объекта, распределения проектных обязанностей, источника финансирования и организационной модели заказчика [1-4]. Поэтому практическая ценность FIDIC определяется не самим фактом использования соответствующей книги, а тем, насколько последовательно ее механизмы встроены в систему управления конкретным проектом.

Для Казахстана вопрос национальной адаптации особенно актуален в связи с развитием правовой и институциональной базы строительства. С 1 июля 2026 года основным кодифицированным актом в сфере строительства является Строительный кодекс Республики Казахстан от 9 января 2026 года № 253-VIII ЗРК [6]. Одновременно действует Бюджетный кодекс Республики Казахстан от 15 марта 2025 года № 171-VIII [7] и Закон Республики Казахстан «О государственных закупках» от 1 июля 2024 года № 106-VIII ЗРК [8]. Следовательно, международные контрактные процедуры должны рассматриваться во взаимосвязи с действующими требованиями к строительной деятельности, финансированию, закупкам, экспертизе, изменениям проектных решений и приемке результатов.

В профессиональной среде периодически возникает дискуссия о том, насколько механизмы FIDIC совместимы с национальными процедурами. При этом сама постановка вопроса в форме противопоставления «FIDIC или национальная модель» представляется излишне упрощенной. Международная контрактная форма может быть эффективна только при корректной национальной адаптации, а национальная договорная практика, в свою очередь, может использовать выработанные FIDIC инструменты управления изменениями, сроками, доказательствами, платежами и спорами. Поэтому предметом анализа должны быть не отдельные организации или проекты, а институциональные условия применения контрактной модели.

Рабочая гипотеза настоящего исследования состоит в том, что основные сложности применения FIDIC в дорожных проектах возникают не вследствие неприменимости самой модели к Казахстану, а в точках сопряжения контракта с бюджетными, закупочными, техническими и управленческими процедурами. Цель работы заключается в систематизации таких точек, их сопоставлении с базовыми принципами FIDIC и формировании практических направлений дальнейшего развития контрактной среды. Исследование носит научно-методический характер и не ставит целью оценку деятельности отдельных государственных органов, заказчиков, инженеров или подрядных организаций.

Методология и методы

Исследование выполнено методом качественного сравнительного анализа. В качестве международной методологической базы использованы Условия контракта FIDIC

для строительства, известные как Красная книга, Условия контракта для оборудования и проектирования-строительства, известные как Желтая книга, Условия контракта для EPC/проектов «под ключ», известные как Серебряная книга, а также документ FIDIC Golden Principles 2019 [1-4]. Дополнительно учитывались общие подходы к закупкам и контрактному управлению, применяемые международными финансовыми институтами в инфраструктурных проектах [9, 10].

Национальная нормативная база рассмотрена на уровне действующих на дату подготовки статьи актов. В анализ включены Строительный кодекс Республики Казахстан, Бюджетный кодекс Республики Казахстан и Закон Республики Казахстан «О государственных закупках» [6-8]. При этом правовые положения рассматриваются не как предмет юридического заключения, а как институциональная рамка, в пределах которой должны быть реализованы конкретные договорные механизмы.

Практическая часть исследования основана на обобщении типовых вопросов, возникающих при подготовке и реализации инфраструктурных контрактов: распределение ответственности за исходные данные и проектирование, порядок изменения объема работ, продление срока завершения, сертификация платежей, корректировка цены, полномочия Инженера, регистрация событий, подготовка требований, процедуры предотвращения споров и связь контрактных решений с техническим контролем. Материалы научно-технического сопровождения и профессиональный опыт используются в обобщенном виде без раскрытия конфиденциальной информации конкретных контрактов.

Сопоставление выполнялось с пятью Золотыми принципами FIDIC. GP1 предусматривает сохранение ролей, обязанностей и прав участников, соответствующих Общим условиям выбранной формы контракта. GP2 требует ясности и однозначности Особых условий. GP3 направлен на сохранение справедливого и характерного для выбранной книги распределения рисков. GP4 касается разумности сроков, установленных для исполнения контрактных процедур. GP5 требует, чтобы формальная система разрешения споров сохраняла роль DAAB как предусмотренного контрактом механизма [4]. Эти принципы использованы как аналитическая рамка, а не как критерий формального аудита конкретных проектов.

Выявленные аспекты сгруппированы по четырем блокам: правовое и нормативное сопряжение; финансовое и бюджетное сопровождение; организационные компетенции и контрактная дисциплина; управление рисками и спорами. Для каждого аспекта сформулирована потенциальная зона внимания и возможное направление развития. Такой формат позволяет перейти от констатации отдельных сложностей к прикладным предложениям, которые могут обсуждаться профессиональным сообществом.

Результаты и Обсуждение

Проведенный анализ позволил выделить десять взаимосвязанных аспектов применения FIDIC в дорожных проектах Казахстана. Они не должны интерпретироваться как перечень системных нарушений. Речь идет о типовых зонах сопряжения международной контрактной модели с национальной институциональной средой, где качество подготовки Особых условий и процедур управления особенно существенно. Сводная матрица представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Аспекты применения FIDIC в дорожных проектах Республики Казахстан

№	Аспект применения	Зона внимания	Направление развития
1	Согласование с национальным регулированием	Полномочия сторон, Инженера, порядок изменений, приемки, платежей и разрешения споров должны реализовываться с учетом императивных норм законодательства РК. Буквальный перенос типового текста без правовой адаптации может создавать неоднозначность.	Разработка типовых подходов к Особым условиям и таблицы соответствия: положение FIDIC, применимая норма РК, способ адаптации, ответственная сторона.
2	Согласование с бюджетными процедурами	FIDIC предусматривает оперативное управление изменениями, продлением сроков и финансовыми последствиями. Для проектов с бюджетным финансированием отдельные решения могут требовать дополнительных согласований и процедур.	Заранее определять договорный и бюджетный маршрут изменений, лимиты полномочий, документирование финансовых последствий и порядок согласования решений.
3	Распределение рисков в Особых условиях	Существенная корректировка Общих условий может изменить исходный баланс рисков, особенно по исходным данным, доступу к площадке, непредвиденным физическим условиям, инфляции и изменениям законодательства.	Проводить структурированную проверку Особых условий и обосновывать перенос каждого существенного риска через критерии контролируемости, измеримости и стоимости управления.
4	Роль и полномочия Инженера	Для своевременной сертификации, оценки требований и вынесения определений важно, чтобы полномочия Инженера были ясно описаны и согласованы с процедурами взаимодействия с Заказчиком.	Устанавливать матрицу полномочий, сроки принятия решений, порядок согласований и прозрачную документальную фиксацию определения Инженера.
5	Контрактные компетенции	FIDIC требует регулярной работы с программой, уведомлениями, доказательствами, сроками, стоимостью и причинно-следственными связями. Недостаток компетенций любой стороны повышает риск процедурных ошибок.	Развивать системную подготовку представителей Заказчика, Инженера, подрядчика, контрактных менеджеров и специалистов по требованиям и спорам.
6	Управление требованиями и доказательствами	Требование, подготовленное спустя значительное время после события, сложнее подтвердить данными программы, перепиской, журналами, ресурсами и фактическими затратами.	Вести единый цифровой реестр событий, уведомлений, инструкций, изменений и требований с привязкой к программе и подтверждающим документам.
7	Готовность проекта к тендеру	Неполнота инженерных изысканий, земельных вопросов, сведений о сетях, доступе и интерфейсах может увеличивать неопределенность после заключения договора.	Применять оценку проектной готовности до тендера и отражать незакрытые вопросы в реестре рисков с понятным распределением ответственности.
8	Корректировка цены	Дорожные проекты чувствительны к ценам на битум, топливо, цемент, металл, логистику и валютные факторы. Непрозрачный механизм корректировки может усиливать ценовую неопределенность.	Определять формулу корректировки, источники индексов, базовую дату, перечень ресурсов и порядок действий при экстремальных изменениях рынка.
9	Применение DAAB	Создание совета только после эскалации спора снижает потенциал раннего предотвращения разногласий и неформального содействия сторонам.	Для крупных и длительных проектов рассматривать standing DAAB с регулярным ознакомлением с ходом проекта и возможностью совместных обращений сторон.
10	Ориентация на жизненный цикл	Традиционная фокусировка только на объемах строительства и вводе объекта не всегда отражает последующую эксплуатационную эффективность.	Связывать контрактное управление с измеримыми показателями долговечности и эксплуатации: ровность, колейность, сцепление, состояние сооружений и стоимость жизненного цикла.

1. Согласование контрактной модели с национальной правовой средой

Любая форма FIDIC действует через конкретный договор, а договор подчиняется применимому праву. Поэтому корректная национальная адаптация не является отклонением от идеи FIDIC, если она сохраняет назначение выбранной формы и не создает внутренних противоречий. Для дорожного проекта особое значение имеют вопросы полномочий на изменение проектных решений, порядок технического надзора, приемка, документирование выполненных работ, требования безопасности, взаимодействие с экспертизой и иными обязательными процедурами.

В 2026 году институциональная среда Казахстана существенно обновилась в связи с введением Строительного кодекса. Для новых контрактов это означает необходимость актуализации шаблонов Особых условий и внутренних процедур, которые ранее могли ссылаться на утративший силу Закон «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности». Такой переход сам по себе создает дополнительную потребность в юридико-технической проверке тендерной документации, чтобы контрактные формулировки соответствовали действующему регулированию и не опирались на устаревшие ссылки.

Практически полезным инструментом может быть таблица соответствия, формируемая при подготовке тендера. В ней для каждого значимого механизма FIDIC фиксируются применимая норма национального законодательства, необходимая адаптация и ответственная сторона. Это особенно важно для положений о полномочиях Инженера, вариациях, согласовании проектных решений, сертификации, приостановлении работ, доступе к площадке и разрешении споров. Такой подход снижает риск того, что правовые ограничения будут выявлены уже после возникновения события.

2. Бюджетные процедуры и финансовое сопровождение

Одной из наиболее сложных точек сопряжения может быть различие между логикой долгосрочного строительного контракта и логикой бюджетного планирования. FIDIC допускает, что в ходе проекта возникают вариации, продление срока, дополнительные расходы, новые обстоятельства и необходимость корректировки цены. При этом признание права по контракту и фактическая возможность финансового исполнения могут зависеть от установленных процедур бюджетного согласования, корректировки соответствующих документов и наличия лимитов финансирования.

Решение данной задачи не обязательно требует изменения основ FIDIC. Более устойчивым представляется предварительное проектирование финансовой процедуры еще до объявления тендера. В контрактной документации и внутренних регламентах целесообразно заранее определить, какие изменения могут утверждаться в пределах делегированных полномочий, какие требуют дополнительного согласования, какие документы подтверждают финансовые последствия и как сроки бюджетной процедуры соотносятся со сроками контрактных уведомлений и определений.

Особое значение имеет разделение двух вопросов: существование договорного основания для требования и возможность его финансирования в конкретный момент. Если эти процессы не синхронизированы, возникает риск накопления подтвержденных, но долго не реализуемых финансовых последствий. С точки зрения управления проектом предпочтительнее заранее создавать прозрачный маршрут движения решения от технического события до договорной оценки и финансового исполнения.

3. Особые условия и баланс распределения рисков

Особые условия необходимы для адаптации FIDIC к конкретному проекту, однако именно на этом этапе может изменяться исходная логика выбранной книги. Наиболее чувствительными являются риски, которые одна сторона объективно не может контролировать: ошибки исходных данных, доступ к площадке, непредвиденные физические условия, изменения законодательства, отдельные интерфейсные риски и резкие рыночные изменения. Передача такого риска не устраняет его, а только меняет сторону, которая включает его стоимость в цену или несет последствия при реализации.

С позиции GP3 важен не абстрактный принцип «равного» распределения рисков, а их размещение у стороны, которая лучше способна управлять соответствующим событием. Если риск невозможно разумно оценить на стадии тендера, его безусловный перенос может приводить к повышению премии за риск, уменьшению сопоставимости предложений и росту вероятности последующих требований. Поэтому каждое существенное отклонение от Общих условий целесообразно сопровождать внутренним обоснованием: кто контролирует событие, кто обладает исходными данными, как риск может быть оценен и каковы последствия его реализации.

Для дорожных проектов данная проблема особенно выражена в геотехнических и линейных рисках. На длинном участке трассы условия грунта, подземные коммуникации, водный режим и доступ к отдельным участкам могут существенно различаться. В таких случаях качество изысканий и ясность распределения ответственности за достоверность исходной информации напрямую влияют на предсказуемость контракта.

4. Роль Инженера и качество контрактного администрирования

В Красной и Желтой книгах Инженер выполняет ключевую функцию в повседневном администрировании контракта. Эффективность этой роли зависит не только от профессиональной квалификации консультанта, но и от ясности его полномочий, сроков принятия решений, доступа к информации и порядка взаимодействия с Заказчиком. В национальной адаптации важно избежать ситуации, когда контракт формально возлагает на Инженера обязанность принять решение в установленный срок, но внутренние процедуры требуют последовательности согласований, не отраженной в контрактном календаре.

Самостоятельность Инженера не означает отсутствие ответственности перед Заказчиком или применимым правом. Речь идет о способности выполнять контрактные функции в пределах делегированных полномочий и документировать профессиональное обоснование своих действий. Для этого полезна матрица полномочий, в которой разграничиваются действия, выполняемые Инженером самостоятельно, действия, требующие предварительного согласования Заказчика, и вопросы, выходящие за пределы его компетенции.

Научно-техническое сопровождение может дополнять контрактное администрирование в части доказательной базы. Независимые испытания, контрольные измерения, анализ причин дефектов и оценка технических решений не подменяют функцию Инженера, но позволяют повысить качество исходной информации для определения причинно-следственных связей и принятия технически обоснованных решений.

5. Контрактные компетенции и культура документирования

FIDIC является процедурно насыщенной системой. Даже технически обоснованное требование может быть ослаблено, если событие своевременно не зарегистрировано, уведомление направлено с опозданием, программа не обновлялась, отсутствует разбивка ресурсов или невозможно установить причинно-следственную связь между событием и

задержкой. Поэтому внедрение FIDIC не может ограничиваться использованием формы договора. Оно предполагает формирование контрактной культуры у всех ключевых участников.

Профессиональная подготовка должна охватывать не только юристов и контрактных менеджеров. Руководители проектов, инженеры, специалисты технического надзора, планировщики, сметчики и представители подрядчика должны понимать, какие производственные события имеют контрактное значение и какие документы должны формироваться в момент их возникновения. В противном случае доказательная база собирается ретроспективно, когда часть информации уже утрачена или не может быть надежно восстановлена.

Для Казахстана перспективным направлением является развитие единой профессиональной экосистемы подготовки специалистов по международным инфраструктурным контрактам. Она может включать обучение по ролям Заказчика, Инженера и подрядчика, практику составления уведомлений, анализ программ, оценку продления срока, расчет стоимости изменений, подготовку определений и процедуры DAAB. При этом обучение должно быть ориентировано на реальные рабочие процессы, а не только на изучение текста книг FIDIC.

6. Управление требованиями, программой и цифровыми доказательствами

Современный крупный дорожный проект формирует значительный объем данных: письма, инструкции, журналы, акты, протоколы, графики, исполнительные схемы, результаты испытаний, фотографии, данные геодезии, сведения о ресурсах и платежах. При отсутствии единой системы эти данные оказываются распределены между различными подразделениями и организациями. В момент возникновения требования поиск полной доказательной цепочки становится трудоемким.

Рациональным решением является цифровой реестр контрактных событий. Каждому событию присваивается идентификатор, фиксируются дата возникновения и дата осведомленности, связанное уведомление, соответствующая инструкция или корреспонденция, влияние на программу, статус оценки стоимости и решение Инженера. Такой реестр не заменяет официальную переписку, но создает управленческую картину и позволяет отслеживать незакрытые вопросы до того, как они перерастут в спор.

Отдельного внимания требует актуальность базовой и обновленной программы работ. Для оценки продления срока недостаточно установить, что событие имело место. Необходимо определить его влияние на критический путь и сопоставить с фактической последовательностью работ. Поэтому планирование в FIDIC-проекте должно рассматриваться как инструмент контрактного управления, а не только как отчетный график.

7. Готовность проекта к тендеру

Часть последующих изменений и требований формируется еще до заключения контракта, если проект выходит на тендер при неполной готовности. Для линейной инфраструктуры критичны инженерные изыскания, наличие земельного доступа, сведения о коммуникациях, экологические ограничения, интерфейсы с другими объектами, источники материалов и логистические маршруты. Чем меньше неопределенность на стадии тендера, тем более сопоставимыми являются предложения участников.

Это не означает, что проект должен быть полностью свободен от рисков до закупки. Важно, чтобы известные неопределенности были явно раскрыты и получили договорное распределение. Практика реестра рисков до тендера позволяет отделить факторы, которые

должен устранить Заказчик, от факторов, которые обоснованно передаются подрядчику. Для проектов с ответственностью подрядчика за проектирование дополнительно важна ясность требований Заказчика и исходных критериев проектирования.

Для дорожной отрасли может быть полезен формализованный показатель readiness, отражающий готовность проектирования, земель, сетей, экологии, финансирования, изысканий и доступа. Такой показатель не является элементом FIDIC как такового, но повышает качество среды, в которой FIDIC должен работать.

8. Корректировка цен и ресурсная чувствительность дорожных проектов

Стоимость дорожного строительства особенно чувствительна к ограниченному набору ресурсов, доля которых в себестоимости может быть значительной: битум, дизельное топливо, цемент, металл, инертные материалы, транспортировка и импортируемое оборудование. При длительном сроке реализации контракта фиксированная цена без прозрачного механизма учета существенных рыночных изменений переносит на участника риск, который может быть сложно оценить на дату тендера.

Механизм корректировки цены должен быть понятен до подачи предложения. Существенными элементами являются базовая дата, перечень индексируемых компонентов, источники индексов, веса ресурсов и периодичность пересмотра. Не менее важно определить порядок действий при экстремальном изменении рынка, когда обычная формула может перестать отражать реальную структуру затрат.

Прозрачная индексация не означает автоматического возмещения любых расходов подрядчика. Ее задача состоит в заранее согласованном распределении рыночного риска. Для Заказчика это повышает сопоставимость предложений, поскольку участники в меньшей степени вынуждены включать неопределенную долгосрочную премию за инфляционный риск.

9. DAAB как механизм предотвращения и разрешения споров

Одной из отличительных особенностей современной системы FIDIC является акцент не только на разрешении уже возникшего спора, но и на его предотвращении. Standing DAAB, сформированный в начале проекта, получает возможность знакомиться с ходом работ, понимать контекст и при согласии сторон оказывать неформальное содействие до того, как разногласие приобретет жесткую процессуальную форму.

Для дорожных проектов такая модель может иметь практическое значение из-за высокой стоимости остановок и сезонной зависимости. Спор, который остается нерешенным несколько месяцев, способен повлиять на программу работ, закупки, мобилизацию и последующие взаимосвязанные события. Поэтому раннее экспертное рассмотрение вопроса может быть экономически более рациональным, чем его длительная эскалация.

Вместе с тем эффективность DAAB зависит от качества договорной процедуры, своевременности назначения членов, их независимости, компетенций и готовности сторон использовать механизм по назначению. DAAB не должен рассматриваться как замена переговорам, Инженеру или арбитражу. Его роль состоит в создании дополнительного профессионального уровня для предотвращения и оперативного разрешения разногласий в рамках согласованной контрактной архитектуры.

10. Переход от контроля объемов к показателям жизненного цикла

Традиционный строительный контракт в значительной степени ориентирован на выполнение и приемку физических объемов работ. Для автомобильной дороги, однако, общественная ценность определяется не только объемом уложенных материалов, но и

эксплуатационным результатом: ровностью, сцеплением, отсутствием преждевременной колейности, устойчивостью земляного полотна, надежностью мостов и безопасностью движения.

Поэтому развитие контрактных моделей может быть связано с более широким использованием показателей жизненного цикла. Это не означает автоматического перехода всех проектов к долгосрочным design-build-maintain схемам. Для каждого объекта требуется анализ рынка, способности заказчика управлять долгосрочным контрактом и измеримости показателей. Тем не менее включение эксплуатационных критериев в систему качества уже на строительной стадии позволяет связать контрактные решения с конечным результатом для пользователя.

Научно-техническое сопровождение в такой модели получает дополнительное значение. Методы диагностики, прогнозирования деградации, лабораторные испытания и цифровые модели могут использоваться не только для контроля соответствия на момент строительства, но и для обоснования ожидаемой долговечности и выбора решений по стоимости жизненного цикла.

Особенности выбора формы FIDIC для дорожного проекта

Правильная адаптация начинается с выбора формы контракта. Красная книга традиционно применяется, когда основная проектная документация предоставляется Заказчиком, а подрядчик выполняет строительство. Желтая книга ориентирована на проекты, где значительная ответственность за проектирование и строительство возлагается на подрядчика. Серебряная книга применяется для EPC/turnkey моделей с более высокой степенью передачи рисков подрядчику и иной архитектурой управления [1-3]. Для тоннельных и подземных работ отдельное значение имеет Изумрудная книга FIDIC, учитывающая специфику геологических условий [5].

Выбор книги должен соответствовать фактической модели проекта. Например, передача подрядчику существенной проектной ответственности при неполных исходных данных требует иной структуры требований, чем классический контракт строительства по проекту Заказчика. Аналогично жесткая EPC-модель не устраняет геологическую неопределенность, если ее невозможно рационально оценить до тендера. Неверное соответствие формы контракта и реального распределения функций увеличивает объем Особых условий и может сделать договор менее прозрачным.

Для крупных дорожных коридоров также важно учитывать интерфейсы между отдельными лотами, мостами, инженерными сетями и поставщиками. Даже правильно выбранная книга FIDIC не устраняет риски на границах ответственности, если они не описаны в требованиях и данных контракта. Поэтому выбор формы должен сопровождаться картированием интерфейсов и ответственности.

Предлагаемые направления институционального развития

Первое направление связано с разработкой методических национальных рекомендаций по применению FIDIC в дорожных проектах. Речь не обязательно идет о создании единственного обязательного шаблона. Более полезным может быть набор проверенных типовых положений и комментариев по их применению, учитывающих Строительный кодекс, бюджетные и закупочные процедуры, а также особенности линейных объектов.

Второе направление состоит в синхронизации контрактного и финансового администрирования. Для крупных проектов целесообразно формировать заранее согласованный порядок рассмотрения вариаций, продления сроков и финансовых

последствий, чтобы техническое решение, договорная оценка и бюджетное исполнение не существовали как три несвязанных процесса.

Третье направление предполагает развитие национальной системы компетенций по международным инфраструктурным контрактам. Профессиональные ассоциации, научные организации, заказчики и инженерно-консультационные компании могут формировать совместные программы по контрактному администрированию, управлению требованиями, планированию, определению Инженера и DAAB.

Четвертое направление связано с цифровизацией. Единая система регистрации событий, инструкций, программ, платежей и требований может повысить прозрачность и сократить количество споров, основанных не на существе технического вопроса, а на неполноте или несогласованности документации.

Пятое направление состоит в постепенном развитии практики dispute avoidance. Для наиболее крупных и длительных контрактов standing DAAB может рассматриваться не только как механизм формального решения споров, но и как элемент управления проектными отношениями, если стороны используют предусмотренные FIDIC возможности своевременно и добросовестно.

В совокупности эти меры могут быть реализованы через отраслевую площадку компетенций с участием государственных органов, заказчиков, инженеров-консультантов, научных организаций, профессиональных ассоциаций и подрядного рынка. Ее задача должна состоять не в продвижении одной контрактной модели, а в разработке практических инструментов, позволяющих выбирать и администрировать модель, соответствующую конкретному проекту.

Ограничения исследования

Настоящая работа представляет качественный научно-методический анализ и не является статистическим исследованием эффективности всех FIDIC-контрактов, реализованных в Казахстане. Выводы не предполагают, что каждый из описанных аспектов присутствует во всех проектах или имеет одинаковую степень значимости.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на количественную оценку влияния отдельных контрактных факторов на сроки, стоимость и спорность проектов. Перспективными показателями могут быть доля стоимости вариаций, продолжительность согласования изменений, количество и стоимость требований, частота продления срока, время вынесения определений, наличие standing DAAB, показатели проектной готовности и отклонения фактических сроков от базовой программы. Для повышения достоверности такой анализ должен основываться на репрезентативном портфеле завершенных и текущих проектов с учетом конфиденциальности коммерческих данных.

Заключение

1. FIDIC следует рассматривать не как альтернативу национальному законодательству, а как контрактную архитектуру, эффективность которой зависит от качественной адаптации к действующей правовой, бюджетной и управленческой среде Республики Казахстан.

2. Ключевыми зонами внимания являются согласование Особых условий с национальным регулированием, прозрачное распределение рисков, синхронизация

договорных и бюджетных процедур, ясность полномочий Инженера, проектная готовность и качество доказательной базы.

3. Для линейных дорожных проектов особое значение имеют геотехническая неопределенность, сезонность, ресурсная чувствительность, многочисленные интерфейсы и необходимость непрерывной фиксации событий. Эти особенности усиливают ценность формализованного контрактного администрирования.

4. Развитие профессиональных компетенций и цифрового управления контрактными данными способно снизить долю разногласий, возникающих из-за несвоевременных уведомлений, неполноты документации и несогласованности процедур.

5. Standing DAAB представляет практический интерес не только как орган разрешения спора, но и как механизм раннего предотвращения эскалации разногласий в крупных и длительных инфраструктурных контрактах.

6. Перспективным направлением является постепенное соединение контрактного управления с показателями жизненного цикла дороги. Это позволяет смещать акцент от формального освоения физических объемов к измеримому качеству и долговечности инфраструктуры.

Таким образом, устойчивое применение FIDIC в Казахстане может быть выражено формулой: подходящая контрактная форма + корректная национальная адаптация + проектная готовность + профессиональные компетенции + дисциплина исполнения. При таком подходе международная контрактная практика может не конкурировать с национальной системой, а дополнять ее инструментами структурированного управления рисками, изменениями и спорами.

Примечание авторов

Настоящая статья отражает исключительно научную позицию и результаты анализа авторов. Представленные оценки, выводы и предложения не являются официальной позицией Казахстанской национальной ассоциации профессиональных инженеров и консультантов (КНАПИК), АО «КаздорНИИ», государственных органов Республики Казахстан, заказчиков либо иных организаций. Упоминание контрактных практик и институциональных механизмов осуществляется исключительно в научно-аналитических целях.

Список литературы

1. FIDIC. Условия договора на строительство зданий и сооружений, спроектированных заказчиком. Второе издание. – Женева: FIDIC, 2017.

FIDIC. Usloviya dogovora na stroitelstvo zdanii i sooruzhenii, proektirovannykh zakazchikom [Conditions of Contract for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer]. Second Edition. – Geneva: FIDIC, 2017.

2. FIDIC. Условия контракта на строительство и проектирование-строительство. Второе издание. – Женева: FIDIC, 2017.

FIDIC. Usloviya kontrakta na stroitelstvo i proektirovanie-stroitelstvo [Conditions of Contract for Construction and Design-Build]. Second Edition. – Geneva: FIDIC, 2017.

3. FIDIC. Условия контракта для проектов «под ключ»/EPC. Второе издание. – Женева: FIDIC, 2017.

FIDIC. Usloviya kontrakta dlya proektov «pod klyuch»/EPC [Conditions of Contract for EPC/Turnkey Projects]. Second Edition. – Geneva: FIDIC, 2017.

4. FIDIC. Золотые принципы FIDIC. Первое издание. – Женева: FIDIC, 2019.

FIDIC. Zolotye printsipy FIDIC [FIDIC Golden Principles]. First Edition. – Geneva: FIDIC, 2019.

5. FIDIC/ITA. Условия контракта на подземные работы. Первое издание. – Женева: FIDIC, 2019.

FIDIC/ITA. Usloviya kontrakta na podzemnye raboty [Conditions of Contract for Underground Works]. First Edition. – Geneva: FIDIC, 2019.

6. Строительный кодекс Республики Казахстан. Кодекс Республики Казахстан от 9 января 2026 года № 253-VIII ЗРК.

Stroitelnyi kodeks Respubliki Kazakhstan. Kodeks Respubliki Kazakhstan ot 9 yanvarya 2026 goda No. 253-VIII ZRK [Construction Code of the Republic of Kazakhstan. Code of the Republic of Kazakhstan dated January 9, 2026, No. 253-VIII ZRK].

7. Бюджетный кодекс Республики Казахстан. Кодекс Республики Казахстан от 15 марта 2025 года № 171-VIII.

Byudzhetnyi kodeks Respubliki Kazakhstan. Kodeks Respubliki Kazakhstan ot 15 marta 2025 goda No. 171-VIII [Budget Code of the Republic of Kazakhstan. Code of the Republic of Kazakhstan dated March 15, 2025, No. 171-VIII].

8. Закон Республики Казахстан «О государственных закупках» от 1 июля 2024 года № 106-VIII ЗРК.

Zakon Respubliki Kazakhstan «O gosudarstvennykh zakupkakh» ot 1 iyulya 2024 goda No. 106-VIII ZRK [Law of the Republic of Kazakhstan "On Public Procurement" dated July 1, 2024, No. 106-VIII ZRK].

9. World Bank. Standard Procurement Documents for Works, including FIDIC-based Conditions for Internationally Financed Projects. – Washington, DC: World Bank.

10. European Bank for Reconstruction and Development. Procurement Policies and Rules. – London: EBRD.

11. FIDIC. Guidance Memorandum to Users of the 2017 FIDIC Conditions of Contract. – Geneva: FIDIC.

12. Society of Construction Law. Delay and Disruption Protocol. Second Edition. – London: Society of Construction Law, 2017.

Сведения об авторах:

Лоновенко Кирилл – Казахстанская национальная ассоциация профессиональных инженеров и консультантов (КНАПИК), Астана, Казахстан, knapec2023@gmail.com.

Нугманова Асель Улановна – АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (КаздорНИИ), Астана, Казахстан, a.nugmanova@qazjolgzi.kz.

Лоновенко Кирилл – Қазақстанның кәсіби инженерлері мен консультанттарының ұлттық қауымдастығы (ҚКИКА), Астана, Қазақстан, knapec2023@gmail.com.

Нугманова Асель Улановна – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ (ҚазжолҒЗИ), Астана, Қазақстан, a.nugmanova@qazjolgzi.kz.

Lovenko Kirill – Kazakhstan National Association of Professional Engineers and Consultants (KNAPIC), Astana, Kazakhstan, knapec2023@gmail.com.

Nugmanova Assel Ulanovna – JSC "Kazakhstan Road Research Institute" (KazdorNII), Astana, Kazakhstan, a.nugmanova@qazjolgzi.kz.

Вклад авторов:

Лоновенко Кирилл – концепция исследования, методология, сбор и анализ данных, проведение исследования, подготовка текста статьи.

Нугманова Асель Улановна – руководство исследованием, интерпретация результатов, научное редактирование, визуализация и окончательное редактирование статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖОЛ ЖОБАЛАРЫНДА FIDIC КЕЛІСІМШАРТТЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚОЛДАНУ: ПРАКТИКАЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ БЕЙІМДЕУ БАҒЫТТАРЫ

Лоновенко Кирилл[1,*], Нугманова Асель[2]

[1]Қазақстанның кәсіби инженерлері мен консультанттарының ұлттық қауымдастығы (ҚКИКА), Астана, Қазақстан
[2]«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ (ҚазжолҒЗИ), Астана, Қазақстан
*Корреспондент автор: knapec2023@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада Қазақстан Республикасындағы автомобиль жолдарын салу және реконструкциялау жобаларында Консалтинг-инженерлердің халықаралық федерациясының (FIDIC) типтік келісімшарттық нысандарын қолданудың ерекшеліктері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – ұлттық институционалдық ортада FIDIC-ті практикалық іске асыруға әсер ететін факторларды жүйелеу және халықаралық стандарттар мен Қазақстан Республикасының заңнамасын қарама-қарсы қоймай, келісімшарттарды басқаруды одан әрі дамыту бойынша ұсыныстар қалыптастыру. Әдістеме FIDIC-тің Қызыл, Сары және Күміс кітаптарының, FIDIC-тің Алтын қағидаттарының, Қазақстан Республикасының қолданыстағы нормативтік базасының, инфрақұрылымдық жобаларды іске асыру тәжірибесінің және тәуекелдерді, өзгерістерді, мерзімдерді, төлемдерді және дауларды басқарудың кәсіби тәсілдерінің сапалық салыстырмалы талдауына негізделген. FIDIC-ті қолданудың он аспектісі жүйеленді: ұлттық реттеумен және бюджеттік рәсімдермен үйлестіру, Ерекше жағдайлардағы тәуекелдерді бөлу, Инженердің өкілеттіктері, келісімшарттық құзыреттер, талаптарды басқару, жобаның тендерге дайындығы, бағаны түзету, DAAB тетіктері және жобаның өмірлік цикліне бағдарлану. FIDIC тиімділігі, ең алдымен, келісімшарттық модельді бейімдеу сапасына, жобаның дайындық деңгейіне және орындау тәртібіне байланысты екені көрсетілді. Жол жобалары үшін үлгілік әдістемелік шешімдерді әзірлеу, бюджеттік сүйемелдеуді жетілдіру, кәсіби құзыреттерді дамыту, келісімшарттарды цифрлық басқару және даулардың алдын алудың ерте кезеңдегі тетіктерін кеңінен қолдануды қоса алғанда, дамудың практикалық бағыттары ұсынылды.

Түйін сөздер: FIDIC, құрылыс мердігерлігі шарттары, автомобиль жолдары, тәуекелдерді бөлу, Инженер, Ерекше жағдайлар, DAAB, бағаны түзету, келісімшарттарды басқару, өмірлік цикл, Қазақстан Республикасы.

APPLICATION OF FIDIC CONTRACT MODELS IN ROAD PROJECTS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: PRACTICAL FEATURES AND DIRECTIONS FOR INSTITUTIONAL ADAPTATION

Lovenko Kirill[1,*] , Nugmanova Assel[2]

[1]Kazakhstan National Association of Professional Engineers and Consultants (KNAPIC), Astana, Kazakhstan
[2]JSC “Kazakhstan Road Research Institute” (KazdorNII), Astana, Kazakhstan
*Corresponding author: knapec2023@gmail.com

Abstract. This paper examines the specific features of applying the standard contract forms of the International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) in road construction and reconstruction projects in the Republic of Kazakhstan. The study aims to systematize the factors affecting the practical implementation of FIDIC within the national institutional environment and to develop proposals for further improvement of contract administration without opposing international standards to the legislation of the Republic of Kazakhstan. The methodology is based on a qualitative comparative analysis of the FIDIC Red, Yellow and Silver Books, the FIDIC Golden Principles, the current regulatory framework of the Republic of Kazakhstan, infrastructure project practices, and professional approaches to managing risks, changes, time, payments and disputes. Ten aspects of FIDIC implementation are systematized: alignment with national regulation and budget procedures, risk allocation under the Particular Conditions, the powers of the Engineer, contractual competencies, claims management, project readiness for tendering, price adjustment, DAAB mechanisms, and life-cycle orientation. The study demonstrates that the effectiveness of FIDIC primarily depends on the quality of adaptation of the contract model, project readiness, and implementation discipline. Practical directions for further development are proposed, including standard methodological solutions for road projects, improvement of budgetary support, development of professional competencies, digital contract administration, and wider application of early dispute avoidance mechanisms.

Keywords: FIDIC, construction contracts, roads, risk allocation, Engineer, Particular Conditions, DAAB, price adjustment, contract management, life cycle, Republic of Kazakhstan.



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

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОСКОВЫХ МОДИФИКАТОРОВ В СОСТАВЕ ЛИТЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Михайлова Ольга[1]*, **Ядыкина Валентина**[2], **Волков Владислав**[2]

[1]ООО «Селена»
[2]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
*Корреспондент автор: omikhaylova@npfselena.ru

Аннотация. Одной из важных задач дорожного строительства является снижение температур приготовления и укладки литых асфальтобетонных смесей при сохранении их эксплуатационных свойств. Это позволит снизить энергозатраты, повысить экономическую и экологическую эффективность технологии. Применение добавок на основе синтетических восков позволяет не только уменьшить температуру укладки и расход вяжущего, но и повысить устойчивость покрытия к пластическим деформациям. В данном исследовании оценено влияние комплексной добавки Вискодор ПВ-2, на физико-химические свойства битума и литых асфальтобетонов в сравнении с известными добавками Licomont BS-100 и Sasobit. На основании анализа физико-химических характеристик модифицированного вяжущего определена оптимальная концентрация добавок. Установлено, что введение 2,5% исследуемых компонентов снижает температуру укладки смеси минимум на 30°С, не оказывая негативного влияния на прочностные показатели. Благодаря синергии восков, ПАВ и пластификаторов, входящих в состав в состав Вискодор ПВ-2 достигается значительное повышение удобоукладываемости при одновременном уменьшении глубины вдавливания штампа. По своей эффективности как температуропонижающая добавка Вискодор ПВ-2 не уступает широко используемым воскам Sasobit и Licomont BS-100.

Ключевые слова: литой асфальтобетон, битум, температуропонижающие добавки, воски, физико-химические свойства.

Введение

Постоянный рост транспортных нагрузок и интенсивности движения на автомагистралях обуславливает ужесточение требований к прочностным характеристикам дорожных покрытий. В ответ на эту тенденцию всё более широкое применение находят материалы с повышенными эксплуатационными показателями, к числу которых относятся литые асфальтобетонные смеси.

Специфика литого асфальтобетона заключается в повышенном содержании битума (до 7,5–10%) и минерального порошка (до 20–30%). Вследствие этого определяющую роль в формировании его прочности играют микроструктура и реологические свойства битумного вяжущего [1].

Ключевой особенностью технологии укладки является высокая подвижность смеси, достигаемая за счёт повышенных температур и содержания вяжущего, что исключает необходимость её уплотнения. После остывания формируется высокопрочное, трещиностойкое и водонепроницаемое покрытие с остаточной пористостью не более 2%

[2]. Литой асфальтобетон обладает высокой плотностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью, что позволяет продлить срок службы дорожного полотна до 15–20 лет [3].

Тем не менее, технология сопряжена со значительными энергозатратами и необходимостью применения специализированного транспорта для поддержания температуры смеси в диапазоне 220–230°C при постоянном перемешивании. Высокая стоимость материала обусловлена увеличенным расходом минерального порошка и битумного вяжущего [4]. Кроме того, покрытия на основе немодифицированного битума характеризуются низкой сдвигоустойчивостью, что провоцирует образование пластических деформаций [5].

Для повышения сопротивления сдвигу вяжущее модифицируют полимерами. Исследования [6–8] подтверждают, что использование полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) существенно улучшает прочностные и упругопластичные характеристики смесей. Однако данный подход приводит к увеличению вязкости, снижению подвижности смеси и, как следствие, требует ещё более высоких температур укладки и расхода вяжущего. В совокупности с высокой стоимостью самих полимеров это ведёт к существенному удорожанию технологии.

Альтернативным решением является применение дефлегматоров – добавок, улучшающих технологическую подвижность смеси. В европейской практике широкое распространение получили добавки на основе синтетических восков, такие как Sasobit и Licomont BS-100 [9]. Их принцип действия основан на снижении вязкости системы при температурах приготовления выше точки плавления воска. При последующем охлаждении эти компоненты кристаллизуются, образуя в объёме битума пространственную сетчатую структуру, которая армирует вяжущее и повышает его прочностные показатели.

Так, согласно данным исследований [9 – 12], введение таких восковых добавок как Sasobit и Licomont BS-100 в концентрации 2,0–4,0% снижает вязкость вяжущего и позволяет снизить температуру приготовления, уменьшить дозировку вяжущего при сохранении требуемой подвижности. При этом данные добавки увеличивают температуру размягчения и изменяет пенетрацию битумного вяжущего, демонстрируя выраженный структурирующий эффект.

Целью данной работы, выполненной ООО «Селена» совместно с кафедрой автомобильных и железных дорог имени А.М. Гридчина БГТУ им. В.Г. Шухова, является оценка влияния новой комплексной добавки Вискодор ПВ-2, разработанной на основе синтетических восков, катионных ПАВ и пластифицирующих компонентов, на свойства литой асфальтобетонной смеси. Как следует из работ [13, 14], применение данной добавки способствует снижению температуры приготовления асфальтобетонных смесей и проявляет структурирующие свойства., что выражается в расширении температурного интервала пластичности битумного вяжущего. Исходя из изложенного, исследование эффективности применения Вискодор ПВ-2 в рецептурах литых асфальтобетонных смесей представляется научно и практически обоснованным.

Методология

В работе было исследовано влияние комплексной добавки Вискодор ПВ-2 на физико-механические характеристики литой асфальтобетонной смеси типа ЛА16Вн. В качестве контрольных образцов для сравнительного анализа были выбраны модификаторы Sasobit (полиэтиленовый воск, синтезированный по методу Фишера-Тропша, производитель – «SasolWax», ЮАР) и Licomont BS 100 (амидный воск, производитель – «Clariant», Швейцария), широко используемые в мировой практике.

Объектом модификации служил вязкий дорожный битум марки БНД 70/100, произведённый АО «Газпромнефть – Московский НПЗ».

Для приготовления литых асфальтобетонных смесей на основе битума БНД 70/100, модифицированного исследуемыми добавками, применялись следующие минеральные

материалы: щебень фракций 8–16 мм и 4–8 мм, дроблёный песок фракции 0–4 мм (производитель – ОАО «Павловск Неруд»), а также неактивированный минеральный порошок МП-2 (производитель – ООО «Центр-Известняк»).

С целью изучения влияния модификаторов Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit на свойства битумного вяжущего и определения их рациональной концентрации был подготовлен ряд образцов. Исходя из данных предыдущих исследований [14], концентрация каждой добавки варьировалась в диапазоне от 2,0% до 3,5% с шагом 0,5%. Модификация осуществлялась путём введения расчётного количества предварительно разогретой до 150°С добавки в ёмкость с битумом той же температуры. Перемешивание производилось лабораторной мешалкой в течение одного часа при поддержании постоянной температуры.

Полученные составы битумов были подвергнуты комплексному анализу физико-химических свойств по следующим методикам: температура размягчения по кольцу и шару (ГОСТ 32054-2013), глубина проникания иглы при температурах 0°С и 25°С (ГОСТ 33136–2014) с использованием автоматического пенетрометра Линтел ПН-20, растяжимость при 0°С и 25°С (ГОСТ 33138–2014) на автоматическом дуктилометре Линтел ДБ-20-150, адгезия к минеральному материалу (ГОСТ 11508), температура хрупкости по Фраасу (ГОСТ 11507-78) на аппарате Линтел АТХ-20.

Гранулометрический состав минеральных материалов определялся методом ситового анализа согласно ГОСТ 33029-2014. На основании полученных кривых просеивания и в соответствии с требованиями ГОСТ 54401-2020 был подобран оптимальный зерновой состав для смеси типа ЛА16Вн.

Приготовление лабораторных образцов литого асфальтобетона выполнялось в смесителе ЛС-АБ-10. Формование проб проводилось согласно п. 10 ГОСТ Р 54400-2020. Дальнейшие испытания включали определение: максимальной плотности смесей ГОСТ Р 58401.16, объёмной плотности уплотнённых образцов ГОСТ Р 58401.8, глубины вдавливания штампа п. 11.4 ГОСТ Р 54400-2020, удобоукладываемости п. 11.9 ГОСТ Р 54400-2020, которая оценивалась по величине осадки конуса. Для оценки температуропонижающего эффекта добавок показатель удобоукладываемости измерялся для каждой серии смесей при трёх уровнях температуры: 185 °С, 200 °С и 215 °С.

Результаты и обсуждение

Результаты испытаний битума БНД 70/100 с исследуемыми добавками приведены в таблицах 1–2 и на рисунках 1–4. Установлено, что для всех модифицированных образцов характерны следующие общие изменения: снижение глубины проникания иглы при 25 °С, повышение температуры размягчения, расширение интервала пластичности, снижение растяжимости при 25 °С и 0 °С, улучшение адгезионных свойств.

Таблица 1 – Пенетрация битума, модифицированного исследуемыми добавками

Номер состава вяжущего	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Наименование добавки	Без добавки	Вискодор ПВ-2				Licomont BS-100				Sasobit			
Концентрация добавки, %	0	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	81	72	70	63	55	68	63	61	54	54	52	50	48
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 0 °С	28	32	31	28	27	30	29	27	25	25	25	24	23

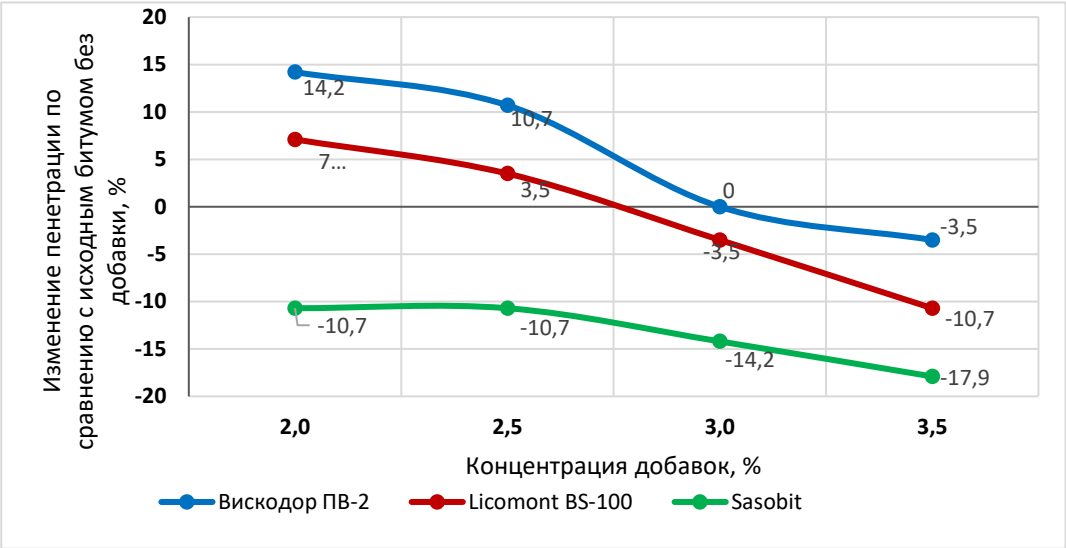


Рисунок 1 – Изменение пенетрации вяжущего при 0°С

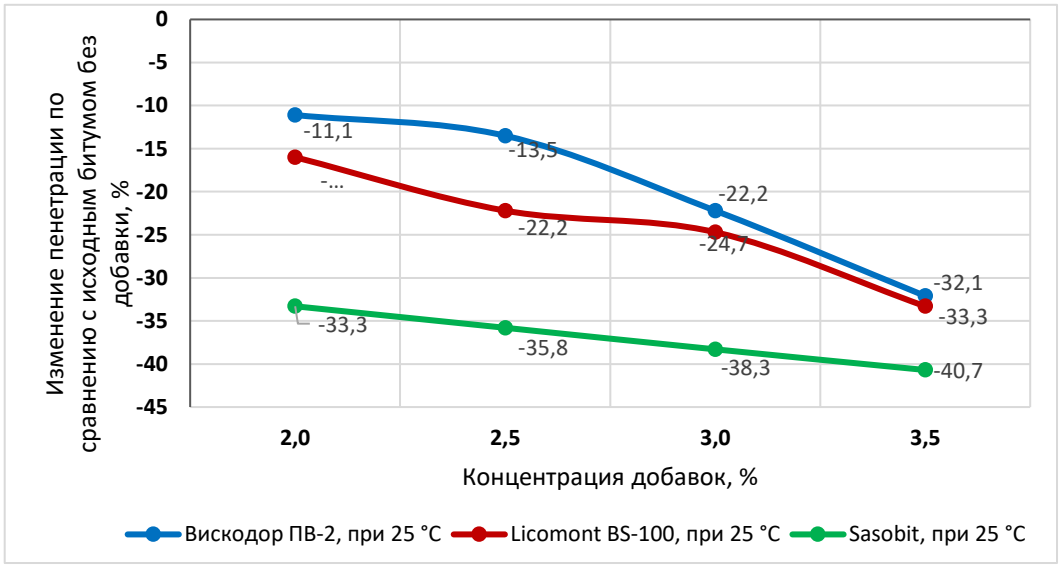


Рисунок 2 – Изменение пенетрации вяжущего при 25°С

В таблице 2 и на рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования глубины проникания иглы битума, модифицированного восковыми добавками Sasobit, Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100, при температурах 25°С и 0°С.

Установлено, что все исследуемые добавки снижают показатель пенетрации при 25°С. Снижение пенетрации усиливается с ростом концентрации добавок и обусловлено способностью восков структурировать битумное вяжущее. Наибольшее снижение зафиксировано при введении добавки Sasobit. Так, введение уже 2% уменьшает глубину проникания иглы на 33,3%. Для сравнения, аналогичная концентрация добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 снижает данный показатель на 16,0% и 11,1% соответственно. Минимальное снижение пенетрации во всем диапазоне концентраций демонстрирует Вискодор ПВ-2, что связано с наличием пластифицирующих компонентов в его составе. При этом интенсивность снижения показателя возрастает после концентрации 2,5%, приводя к более выраженному снижению пластических свойств битумного вяжущего.

При температуре 0°С динамика изменения показателя пенетрации битумного вяжущего существенно различается для исследуемых добавок. Так, введение Sasobit в

количестве 2% снижает пенетрацию битума БНД 70/100 на 10,7%. Добавки Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 в концентрациях до 2,5% не снижают, но и увеличивают глубину проникания иглы. Такое повышение пенетрации свидетельствует об улучшении низкотемпературных характеристик вяжущего, что положительно влияет на устойчивость дорожного покрытия к термическим напряжениям в зимний период. Однако превышение концентрации данных добавок до 3% и более приводит к снижению показателя по сравнению с исходным битумом, ухудшая пластичность материала при отрицательных температурах и делая его применение в климатических условиях с суровыми зимами технологически неоправданным. Таким образом, увеличение концентрации добавок более 2,5% является нецелесообразным.

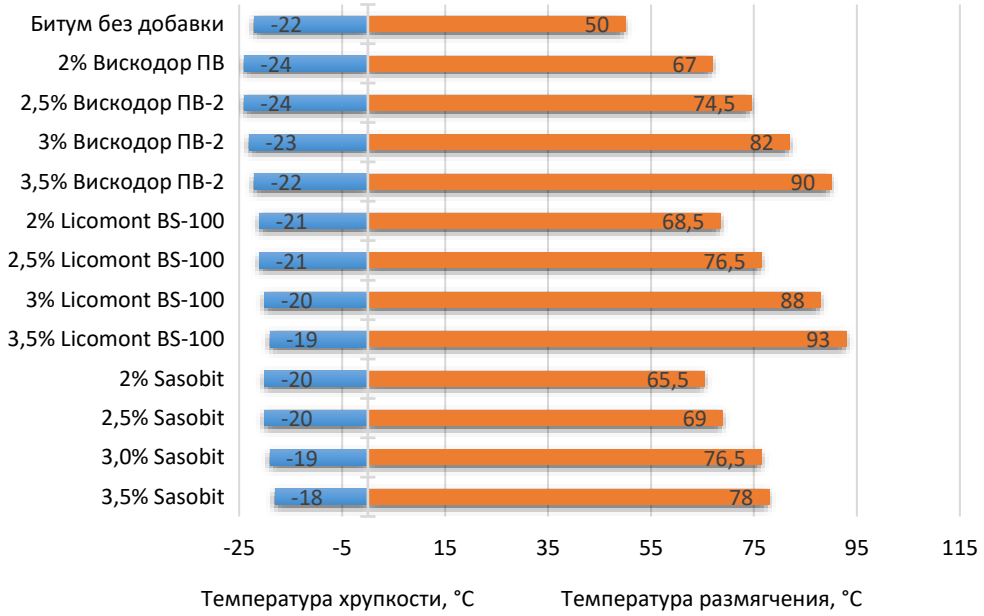


Рисунок 3 – Изменение интервала пластичности БНД 70/100 после модификации

Введение исследуемых восковых модификаторов Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit в битумное вяжущее приводит к расширению его температурного интервала пластичности по сравнению с исходным материалом (рисунок 3), что обусловлено существенным повышением температуры размягчения по КиШ и связано со способностью кристаллизующихся структур воска формировать объёмно-сетчатый каркас в среде битума. Такое структурирование способствует увеличению сдвигоустойчивости литых асфальтобетонных смесей, что будет способствовать снижению показателя глубины вдавливания штампа и повышению сопротивления пластическим деформациям при высоких эксплуатационных температурах.

Установлена общая для всех добавок зависимость: рост концентрации модификатора пропорционально увеличивает температуру размягчения и, как следствие, расширяет температурный интервал пластичности. Для исходного битума данный показатель составил 77°С. При дозировке 2,0% и 3,5% значения составили: с Вискодор ПВ-2 — 91°С и 114°C соответственно; с Licomont BS-100 — 89,5°С и 112°С; с Sasobit — 85,5°C и 96°С.

Максимальный эффект повышения температуры размягчения зафиксирован для добавки Licomont BS-100, минимальный — для Sasobit. Однако применение этих двух модификаторов сопровождается некоторым повышением температуры хрупкости битума, что может оказать отрицательное влияние на трещиностойкость покрытия в условиях низких температур.

Введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрациях до 3,0% масс. приводит к снижению температуры хрупкости модифицированного битума по сравнению с исходным (с минус 22°С до минус 24°С). Данный эффект, обусловленный наличием в составе

модификатора поверхностно-активных и пластифицирующих компонентов, свидетельствует об улучшении низкотемпературных свойств вяжущего. Это будет способствовать повышению трещиностойкости асфальтобетонного покрытия в условиях отрицательных эксплуатационных температур и, как следствие, увеличение срока его службы. Дальнейшее повышение содержания Вискодор ПВ-2 до 3,5% приводит к увеличению температуры хрупкости до уровня исходного битумного вяжущего (−22°С).

Таблица 2 – Растяжимость вяжущего, модифицированного исследуемыми добавками

Номер состава вяжущего	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Наименование добавки	Без добавки	Вискодор ПВ-2				Licomont BS-100				Sasobit			
Концентрация добавки, %	0	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Растяжимость при 25 ºС, см	130	64	61	52	49	62	58	49	46	61	55	51	45
Максимальное усилие при растяжении, при 25°С, Н	1,0	5,1	5,8	6,0	7,1	5,5	6,0	6,5	6,8	5,1	5,9	7,7	8,2
Растяжимость при 0 ºС, см	4,2	3,7	3,6	3,0	2,4	3,4	3,2	2,6	1,8	2,1	2,0	1,9	1,7
Максимальное усилие при растяжении, при 0°С, Н	115	159	160	171	172	135	150	160	168	175	177	178	180

Влияние исследуемых органических добавок на растяжимость модифицированного битума представлено в таблице 2. Полученные данные свидетельствуют о снижении этого показателя как при температуре 25 °С, так и 0 °С. Установлено, что интенсивность снижения растяжимости прямо пропорциональна концентрации вводимой добавки. Это объясняется повышением степени структурированности вяжущего за счёт формирования кристаллической структуры частицами синтетических восков. Наиболее выраженное снижение растяжимости при обеих температурах наблюдается для системы с добавкой Sasobit (рисунок 4). Наименьшее влияние на данный показатель оказывает добавка Вискодор ПВ-2, что обусловлено присутствием в её составе поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пластифицирующих компонентов, нивелирующих жёсткость восковой структуры.

Выявлено существенное увеличение максимального усилия при растяжении, что указывает на рост когезионной прочности вяжущего. Так, введение 2 % добавок приводит к увеличению данного параметра при 25 °С на 410 % (Вискодор ПВ-2), 450 % (Licomont BS-100) и 410 % (Sasobit). Повышение концентрации до 3,5 % усиливает эффект до 610 %, 580 % и 720 % соответственно. При температуре 0 °С прирост максимального усилия при растяжении для 2 %-й концентрации составил 38,3 % (Вискодор ПВ-2), 17,4 % (Licomont BS-100) и 52,2 % (Sasobit); для 3,5 %-й — 43,0 %, 46,1 % и 32,0 % соответственно. Увеличение когезионной прочности является фактором, способствующим повышению прочности литых асфальтобетонных покрытий.

Установлено, что для добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 повышение концентрации свыше 2,5 % вызывает резкое снижение растяжимости при 0 °С. Это может негативно отразиться на низкотемпературных свойствах и морозоустойчивости дорожного покрытия. Таким образом, на основании комплексного анализа показателей пенетрации при

0 °С, температуры хрупкости по Фраасу и растяжимости при 0 °С определена оптимальная концентрация введения данных добавок, составляющая не более 2,5 %.



а) б) в) г)

Рисунок 4 – Внешний вид минерального материала с битумным покрытием после кипячения: а.) Битум без добавок; б.) 2,5% Вискодор ПВ-2; в.) 2,5% Licomont BS-100; г.) 2,5% Sasobit

Результаты оценки адгезии исходного битума и модифицированного исследуемыми добавками в концентрации 2,5 % к минеральному материалу по методике ГОСТ 11508 представлены на рисунке 4. В качестве минерального материала использовался гранитный отсев фракции 0–4 мм, поскольку данный заполнитель был выбран для приготовления экспериментальных составов литых асфальтобетонных смесей.

Установлено, что модификация битума приводит к повышению показателя сцепления с поверхностью минерального материала. Так, покрытие поверхности заполнителя немодифицированным битумом после кипячения составило менее ¾ площади, что согласно классификации ГОСТ 11508 соответствует образцу №3. Вяжущее, модифицированное добавками Licomont BS-100 и Sasobit, покрывает более ¾ поверхности (образец №2). Битум с добавкой Вискодор ПВ-2 полностью сохраняет целостность плёнки на зёрнах минерального материала после кипячения, что соответствует образцу №1.

Наибольшую эффективность в улучшении адгезионных свойств проявила добавка Вискодор ПВ-2. Данный эффект обусловлен наличием в её составе катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые активно взаимодействуют с полярными группами на поверхности каменного материала. Повышение адгезии является ключевым фактором, способствующим увеличению водостойкости, прочности на сдвиг и устойчивости дорожного покрытия к выкрашиванию в процессе эксплуатации.

Анализ совокупности полученных данных показывает, что несмотря на наиболее значительное увеличение температуры размягчения по кольцу и шару (КиШ) и расширение интервала пластичности при концентрации добавок 3,5 %, дальнейшее повышение содержания Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 может привести к ухудшению низкотемпературных характеристик вяжущего. Таким образом, концентрация 2,5 % выбрана в качестве рациональной для указанных добавок. Для обеспечения сопоставимости результатов исследований для добавки Sasobit также была выбрана концентрация 2,5 % по массе при приготовлении образцов литых асфальтобетонных смесей.

На основании гранулометрических составов используемых минеральных материалов (щебня фракций 8-16 мм и 4-8 мм производства ОАО «Павловск Неруд», песка дробленого фракции 0-4 мм производства ОАО «Павловск Неруд» и минерального порошка МП-2 ООО «Центр-Известняк») в соответствии с ГОСТ 54401-2020 был подобран оптимальный состав минеральной части для литой асфальтобетонной смеси ЛА16Вн, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Подбор зернового состава минеральной части смеси

№ п/п	Наименование материала	Содержание, %	Содержание зерен менее данного размера, (мм) в % по массе						
			22,4	16,0	8,0	4,0	2,0	0,5	0,063
1	Щебень фр. 8-16 мм	39,0	39,0	36,9	9,2	0,5	0	0	0
2	Щебень фр. 4-8 мм	11,0	11,0	11,0	10,7	2,7	0,4	0	0
3	Песок дробленый фр. 0-4 мм	28,0	28,0	28,0	28,0	27,4	19,9	8,4	1,3
4	Минеральный порошок	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	18,7
Зерновой состав минеральной части			100,0	97,9	69,9	52,5	42,3	30,4	20,0
Требования ГОСТ Р 54401-2020 для ЛА16Вн		min	100	90	62	43	35	24	19
		max	100	100	78	61	50	41	28

На основе исходного битума БНД 70/100 без добавок и модифицированного 2,5% исследуемыми добавками битума, а также оптимально подобранного состава минеральной части смеси были приготовлены асфальтобетонные смеси ЛА16Вн. Составы смесей и результаты исследований физико-механических свойств приготовленных образцов литых асфальтобетонных смесей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования свойств образцов литых асфальтобетонных смесей

Компоненты состава битумного вяжущего в смеси		№ состава литой асфальтобетонной смеси					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		Содержание, %, (сверх 100% минеральной части)					
Битум		9	9,5	10	8,775	8,775	8,775
Вискодор ПВ-2					0,225		
Sasobit						0,225	
Licomont BS-100							0,225
Всего вяжущего,		9	9,5	10	9	9	9
Наименование показателя	Требования ГОСТ 54401-2020	Результаты испытаний					
Максимальная плотность смеси, г/см3	не нормируется	2,4098	2,3977	2,3984	2,3981	2,3937	2,4031
Объемная плотность, г/см3	не нормируется	2,3931	2,3834	2,3844	2,3852	2,3795	2,3902
Содержание воздушных пустот, %	не более 1,5	0,69	0,60	0,58	0,54	0,59	0,54

Удобоукладываемость смеси мм. не менее, при температуре:	185°С	не нормируется	10	17	19	33	35	31
	200°С	не нормируется	17	25	28	39	42	36
	215°С	не менее 30	26	35	40	49	55	43
Глубина вдавливания штампа, при 40°С, мм		от 1,0 - 4,0	2,73	3,31	4,48	2,45	3,11	2,38
Увеличение глубины вдавливания штампа через 30 мин., мм		не более 0,6	0,15	0,49	0,51	0,35	0,4	0,32

Анализ полученных данных (таблица 4) показывает, что контрольные асфальтобетонные смеси без добавок № 1 и № 3 с содержанием вяжущего 9 % и 10 % не соответствуют требованиям ГОСТ Р 54401-2020. Так, состав № 1 при температуре 215°C продемонстрировал показатель удобоукладываемости 26 мм, что ниже нормативного значения (не менее 30 мм), а состав № 3, имея удовлетворительную удобоукладываемость (40 мм), не соответствует требованиям по глубине вдавливания штампа — 4,48 мм (при норме от 1 до 4 мм). Единственным из контрольных образцов, отвечающим всем требованиям стандарта, оказался состав № 2 с содержанием битума 9,5% (удобоукладываемость — 35 мм, глубина вдавливания штампа — 3,31 мм).

Введение исследуемых добавок позволило получить литые асфальтобетонные смеси с пониженным до 9 % содержанием битумного вяжущего, и соответствующие всем требованиям ГОСТ Р 54401-2020. При этом качество уплотнения смесей значительно улучшилось: наименьшее содержание воздушных пустот зафиксировано у образцов с добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 (0,54% по сравнению с 0,69% у состава с равным количеством битума без модификатора). Добавка Sasobit снизила пористость до 0,59%. Таким образом, применение восковых модификаторов позволяет улучшить уплотняемость смеси без повышения температуры укладки и при меньшем расходе вяжущего.

Испытания при температурах 185, 200 и 215°C подтвердили температуропонижающий эффект восковых добавок примерно на 30°С. При 185°С составы с Вискодор ПВ-2, Sasobit и Licomont BS-100 показали удобоукладываемость 33, 35 и 31 мм соответственно, что соответствует нормативным требованиям для литых асфальтобетонных смесей при 215°С. Наиболее высокий показатель удобоукладываемости при использовании добавки Sasobit обусловлен низкой температурой плавления полиэтиленового воска, тогда как высокий показатель у Вискодор ПВ-2 объясняется наличием ПАВ и пластифицирующих компонентов. Контрольные смеси без добавок при 185 и 200°С имели удобоукладываемость менее 30 мм.

Анализ глубины вдавливания штампа выявил, что у смесей № 4 (с Вискодор ПВ-2) и № 6 (с Licomont BS-100) данный показатель на 10,3% и 12,8% ниже, чем у контрольного образца № 1 (с таким же содержанием битума без добавок), что свидетельствует об увеличении прочностных характеристик за счёт структурирующего действия амидного воска. Для смеси № 5 (Sasobit) значение оказалось выше, чем у образца № 1, но на 6% ниже, чем у стандартного состава № 2, что указывает на более слабый структурирующий эффект полиэтиленового воска.

Таким образом, все литые асфальтобетонные смеси с исследуемыми добавками соответствуют нормативным требованиям и обладают повышенной удобоукладываемостью. Модификаторы Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit могут применяться в качестве температуропонижающих добавок, позволяя снизить температуру

укладки на 30 °С и уменьшить содержание битумного вяжущего на 0,5% без потери прочностных свойств литого асфальтобетона.

Заключение

Установлено, что восковые модификаторы Вискодор ПВ-2, Licomont BS-100 и Sasobit структурируют битумное вяжущее, что подтверждается снижением глубины проникания иглы при температуре 25 °С, повышением температуры размягчения и уменьшением показателя растяжимости. Совокупность этих изменений способствует улучшению прочностных характеристик литых асфальтобетонных смесей и повышению их устойчивости к пластическим деформациям.

Выявлено, что применение указанных добавок усиливает сцепление между битумом и минеральным заполнителем, что является одним из ключевых факторов для увеличения долговечности и эксплуатационной надёжности дорожного покрытия.

Определена оптимальная дозировка для добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 на уровне 2,5% от массы битума. Установлено, что превышение этой концентрации негативно сказывается на низкотемпературных свойствах вяжущего, о чём свидетельствует уменьшение глубины проникания иглы и растяжимости при 0 °С, а также рост температуры хрупкости.

Важным практическим результатом стало подтверждение возможности снижения общего содержания битумного вяжущего в рецептуре литого асфальтобетона без ухудшения, а в ряде случаев — с улучшением его качественных показателей.

Анализ удобоукладываемости показал значительное превосходство модифицированных составов над контрольным образцом (с 9% немодифицированного битума), который продемонстрировал неудовлетворительный результат в 26 мм при 215 °С. Смеси с добавками обеспечили следующие показатели: Licomont BS-100 — 48 мм, Вискодор ПВ-2 — 49 мм; Sasobit — 55 мм.

Выявлено, что введение исследуемых восковых добавок в оптимальной концентрации 2,5% позволяет снизить технологическую температуру укладки смеси на 30 °С (до 185 °С) без ухудшения качественных характеристик литой асфальтобетонной смеси. При этом полученные значения удобоукладываемости полностью соответствуют нормативам: 33 мм состав с Вискодор ПВ-2, 35 мм — Sasobit и 31 мм — Licomont BS-100.

Отмечено, что добавки амидного типа Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 не только улучшают реологические свойства смеси, но и значительно повышают её сдвигоустойчивость. Это выражается в более низких значениях глубины вдавливания штампа по сравнению с контрольными образцами №1 и №2 (2,73 и 3,31 мм): 2,45 мм для Licomont BS-100 и 2,38 мм для Вискодор ПВ-2.

Таким образом, Вискодор ПВ-2 не уступает по эффективности восковым добавкам Licomont BS-100 и Sasobit. Более того, благодаря комплексному составу, включающему пластифицирующие компоненты и ПАВ, она обеспечивает более высокую удобоукладываемость, чем Licomont BS-100, а наличие амидного воска придаёт ей преимущество в сдвигоустойчивости перед Sasobit.

Список литературы

1. Мамонтов А. С., Маковецкая-Абрамова О. В., Цыплакова И. В. Литые асфальтобетоны для мостовых сооружений // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, Санкт-Петербург-Пушкин, 26–28 марта 2020 года. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2020. – С. 289–295.

Mamontov A. S., Makovetskaya-Abramova O. V., Tsyplakova I. V. Litye asfaltobetony dlya mostovykh sooruzhenii [Cast Asphalt Concrete for Bridge Structures] // Rol molodykh uchenykh i issledovatelei v reshenii aktualnykh zadach APK: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i obuchayushchikhsya, Sankt-Peterburg-Pushkin, 26–28 marta 2020 goda. – Sankt-Peterburg-Pushkin: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2020. – P. 289–295.

2. Макаева А. А., Шерстнев С. В., Шерстнев Ю. В. Особенности применения асфальтобетона литого типа // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 ноября 2019 года / под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», 2020. – С. 357–360.

Makaeva A. A., Sherstnev S. V., Sherstnev Yu. V. Osobennosti primeneniya asfaltobetona litogo tipa [Specific Features of Using Cast Asphalt Concrete] // Arkhitekturno-stroitelnyi kompleks: problemy, perspektivy, innovatsii: sbornik statei II mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, Novopolotsk, 28–29 noyabrya 2019 goda / ed. by L. M. Parfenova. – Novopolotsk: Polotskii gosudarstvennyi universitet, 2020. – P. 357–360.

3. Печенкин И. Э., Овчинкин И. Э. Применение литого асфальтобетона на мостах // Технические и технологические основы инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 15 января 2019 года. – Челябинск: ООО «Аэтерна», 2019. – С. 36–39.

Pechenkin I. E., Ovchinkin I. E. Primenenie litogo asfaltobetona na mostakh [Application of Cast Asphalt Concrete on Bridges] // Tekhnicheskie i tekhnologicheskie osnovy innovatsionnogo razvitiya: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Chelyabinsk, 15 yanvarya 2019 goda. – Chelyabinsk: OOO “Aeterna”, 2019. – P. 36–39.

4. Лупанов А. П., Васильев Ю. Э., Силкин В. В. Расширение производства и применения литых асфальтобетонов // Автомобильные дороги. – 2023. – № 11(1104). – С. 132–137.

Lupanov A. P., Vasiliev Yu. E., Silkin V. V. Rasshirenie proizvodstva i primeneniya litykh asfaltobetonov [Expansion of Production and Application of Cast Asphalt Concrete] // Avtomobilnye dorogi. – 2023. – No. 11(1104). – P. 132–137.

5. Козиков И. О., Лупанов А. П., Силкин В. В. Прогнозирование сдвигоустойчивости покрытий из литого асфальтобетона // Транспортное строительство. – 2023. – № 3. – С. 10–13.

Kozikov I. O., Lupanov A. P., Silkin V. V. Prognozirovanie sdvigoustoichivosti pokrytii iz litogo asfaltobetona [Prediction of Shear Resistance of Cast Asphalt Concrete Pavements] // Transportnoe stroitelstvo. – 2023. – No. 3. – P. 10–13.

6. Курлыкина А. В., Ткачева А. И., Власова Е. А. Модификация битумных вяжущих для литого асфальтобетона // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: материалы конференции, Белгород, 30 апреля 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2021. – С. 2122–2130.

Kurlykina A. V., Tkacheva A. I., Vlasova E. A. Modifikatsiya bitumnykh vyazhushchikh dlya litogo asfaltobetona [Modification of Bituminous Binders for Cast Asphalt Concrete] // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova: materialy konferentsii, Belgorod, 30 aprelya 2021 goda. – Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova, 2021. – P. 2122–2130.

7. Кузнецов Д. А., Высоцкая М. А., Курлыкина А. В. Исследование реологических свойств битумных вяжущих для литых асфальтобетонов // Актуальные проблемы науки и техники. 2022: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 16–18 марта 2022 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. – С. 826–827.

Kuznetsov D. A., Vysotskaya M. A., Kurlykina A. V. Issledovanie reologicheskikh svoistv bitumnykh vyazhushchikh dlya litykh asfaltobetonov [Study of Rheological Properties of Bituminous Binders for Cast Asphalt Concrete] // Aktualnye problemy nauki i tekhniki. 2022: materialy Vserossiiskoi (natsionalnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii, Rostov-na-Donu, 16–18 marta 2022 goda. – Rostov-na-Donu: Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2022. – P. 826–827.

8. Братчун В. И., Беспалов В. Л., Пшеничных О. А. Технологичные горячие и литые дорожные асфальтобетонные смеси // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 95–108.

Bratchun V. I., Bespalov V. L., Pshenichnykh O. A. Tekhnologichnye goryachie i litye dorozhnye asfaltobetonnye smesi [Technological Hot and Cast Road Asphalt Concrete Mixtures] // Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2022. – Vol. 18, No. 3. – P. 95–108.

9. Козиков И. О., Лупанов А. П., Силкин В. В., Суханов А. С. Влияние асфальтового гранулята и дефлегматоров на подвижность литых асфальтобетонных смесей // Транспортное строительство. – 2023. – № 2. – С. 27–29.

Kozikov I. O., Lupanov A. P., Silkin V. V., Sukhanov A. S. Vliyanie asfaltovogo granulata i deflegmatorov na podvizhnost litogo asfaltobetonnogo smesi [Effect of Asphalt Granulate and Deflegmators on the Workability of Cast Asphalt Concrete Mixtures] // Transportnoe stroitelstvo. – 2023. – No. 2. – P. 27–29.

10. Yue M., Yue J., Wang R., Xiong Y. Evaluating the fatigue characteristics and healing potential of asphalt binder modified with Sasobit and polymers using linear amplitude sweep test // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 289. – P. 123054. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123054.

11. Kolapkar S., Sathe S. Effect of Sasobit® as a WMA additive on mix design parameters // Materials Today: Proceedings. – 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.253.

12. Sigwarth T., Büchner J., Wistuba M. P. Bio-Degradable Wax to Modify Asphalt Binder for Warm Mix Asphalt // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 10219. DOI: https://doi.org/10.3390/su141610219.

13. Михайлова О. А., Колесников Р. С. Исследование влияния добавок на основе синтетических восков на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова: сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Т. 9. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 234–239.

Mikhailova O. A., Kolesnikov R. S. Issledovanie vliyaniya dobavok na osnove sinteticheskikh voskov na fiziko-mekhanicheskie svoistva asfaltobetonnoi smesi [Study of the Effect of Synthetic Wax-Based Additives on the Physical and Mechanical Properties of Asphalt Concrete Mixture] // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova, posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V. G. Shukhova: sbornik dokladov, Belgorod, 16–17 maya 2023 goda. – Vol. 9. – Belgorod: Belgorodskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova, 2023. – P. 234–239.

14. Ядыкина В. В., Михайлова О. А. Влияние температуропонижающих добавок на основе синтетических восков на свойства битума // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2023. – № 3. – С. 8–18. DOI: https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18.

Yadykina V. V., Mikhailova O. A. Vliyanie temperaturoponizhayushchikh dobavok na osnove sinteticheskikh voskov na svoistva bituma [Effect of Temperature-Reducing Synthetic Wax-Based Additives on Bitumen Properties] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova. – 2023. – No. 3. – P. 8–18. DOI: https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18.

Сведения об авторах:

Михайлова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией ООО «Селена», Шебекино, Белгородская область, Россия. Адрес: Россия, Белгородская обл., г. Шебекино, ул. Ржевское шоссе, 25. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Ядыкина Валентина Васильевна – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия.Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vvya@intbel.ru

Волков Владислав Витальевич – магистрант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия. Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Михайлова Ольга Анатольевна – техника ғылымдарының кандидаты, «Селена» ЖШҚ зертхана меңгерушісі, Шебекино қаласы, Белгород облысы, Ресей. Мекенжайы: Ресей, Белгород облысы, Шебекино қ., Ржевское шоссе көшесі, 25. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Ядыкина Валентина Васильевна – техника ғылымдарының докторы, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университетінің А.М. Гридчин атындағы автомобиль және темір жолдар кафедрасының профессоры, Белгород, Ресей. Мекенжайы: Ресей, 308012, Белгород қ., Костюков көшесі, 46, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. E-mail: vvya@intbel.ru

Волков Владислав Витальевич – В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университетінің А.М. Гридчин атындағы автомобиль және темір жолдар кафедрасының магистранты, Белгород, Ресей. Мекенжайы: Ресей, 308012, Белгород қ., Костюков көшесі, 46, В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Mikhailova Olga Anatolyevna – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory, Selena LLC, Shebekino, Belgorod Region, Russia. Address: 25 Rzhevskoe Shosse, Shebekino, Belgorod Region, Russia. E-mail: omikhaylova@npfselena.ru

Yadykina Valentina Vasilievna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Roads and Railways named after A.M. Gridchin, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. Address: 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. E-mail: vvya@intbel.ru

Volkov Vladislav Vitalyevich – Master's Student, Department of Roads and Railways named after A.M. Gridchin, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. Address: 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. E-mail: vladislav_vv04@mail.ru

Вклад авторов:

О.А. Михайлова – получение финансирования, анализ, визуализация, интерпретация, редактирование;

В.В. Ядыкина - концепция, методология, редактирование;

В.В. Волков – сбор данных, тестирование, моделирование, подготовка текста.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ҚҰЙМАЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫ ҚҰРАМЫНДА БАЛАУЫЗДЫ МОДИФИКАТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Михайлова Ольга[1]*, **Ядыкина Валентина**[2], **Волков Владислав**[2]

[1]«Селена» ЖШҚ
[2] В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті
*Корреспондент автор: omikhaylova@npfselena.ru

Аңдатпа. Жол құрылысындағы маңызды міндеттердің бірі – құймалы асфальтбетон қоспаларының пайдалану қасиеттерін сақтай отырып, оларды дайындау және төсеу температурасын төмендету. Бұл энергия шығынын азайтуға, сондай-ақ технологияның экономикалық және экологиялық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Синтетикалық балауыздар негізіндегі қоспаларды қолдану қоспаның төсеу температурасын және тұтқыр заттың шығынын төмендетіп қана қоймай, жабынның пластикалық деформацияларға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осы зерттеуде Вискодор ПВ-2 кешенді қоспасының битум мен құймалы асфальтбетонның физика-химиялық қасиеттеріне әсері Licomont BS-100 және Sasobit сияқты белгілі қоспалармен салыстырыла отырып бағаланды. Модификацияланған тұтқыр материалдың физика-химиялық сипаттамаларын талдау негізінде қоспалардың оңтайлы концентрациясы анықталды. Зерттеу нәтижесінде зерттелген компоненттерді 2,5% мөлшерінде енгізу қоспаның төсеу температурасын кемінде 30 °С-қа төмендететіні және бұл ретте беріктік көрсеткіштеріне кері әсер етпейтіні анықталды. Вискодор ПВ-2 құрамындағы балауыздар, беттік-белсенді заттар мен пластификаторлардың синергиялық әсері штамптың бату тереңдігін бір мезгілде азайта отырып, қоспаның жайылғыштығы мен төселгіштігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. Температураны төмендететін қоспа ретіндегі тиімділігі бойынша Вискодор ПВ-2 кеңінен қолданылатын Sasobit және Licomont BS-100 балауыздарынан кем түспейді.

Түйін сөздер: құймалы асфальтбетон, битум, температураны төмендететін қоспалар, балауыздар, физика-химиялық қасиеттер.

EFFICIENCY OF USING WAX MODIFIERS IN CAST ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Olga Mikhailova[1,*], Valentina Yadykina[2], Vladislav Volkov[2]

[1]LLC «Selena»
[2]Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova
[*]Corresponding author: omikhaylova@npfselena.ru

Abstract. One of the important tasks of road construction is to reduce the temperature of preparation and laying of cast asphalt concrete mixtures while maintaining their operational properties. This will reduce energy costs, increase the economic and environmental efficiency of the technology. The use of additives based on synthetic waxes allows not only to reduce the laying temperature and the consumption of binder, but also to increase the resistance of the coating to plastic deformations. In this study, the effect of the Viskodor PV-2 complex additive on the physicochemical properties of bitumen and cast asphalt concrete was evaluated in comparison with the known additives Licomont BS-100 and Sasobit. Based on the analysis of the physicochemical characteristics of the modified binder, the optimal concentration of additives was determined. It was found that the introduction of 2.5% of the test components reduces the temperature of laying the mixture by at least 30 °C, without negatively affecting the strength indicators. Due to the synergy of waxes, surfactants and plasticizers included in the composition of Viskodor PV-2 a significant increase in workability is achieved while reducing the depth of impression of the die.

In its effectiveness as a temperature-reducing additive, Viskodor PV-2 is not inferior to the widely used Sasobit and Licomont BS-100 waxes.

Keywords: cast asphalt concrete, bitumen, temperature-reducing additives, waxes, physicochemical properties.



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

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И МОСТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА «СУХОГО ВВОДА» ПРИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРАМИ

Гвелесиани Леван[1,*], Парфёнов Сергей[2]

[1]Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия
[2]Национальный транспортный университет, Киев, Украина
[*]Корреспондет автор: levangvelesiani@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено применение полимерных добавок методом «сухого ввода» для повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог и мостов. Проанализированы технологические ограничения предварительной модификации битума полимерами, связанные с изменчивостью состава исходного вяжущего, совместимостью компонентов и стабильностью полимерно-битумных вяжущих при хранении. Представлены результаты применения полимерной добавки «ПКМ» VELETON, вводимой непосредственно в асфальтосмеситель. По приведённым данным, при дозировке 2,2–2,5 кг на тонну смеси прочность асфальтобетона при сжатии при температуре 50 °C увеличилась с 1,24 до 2,05–2,40 МПа, а глубина колеи после 20 000 проходов колеса уменьшилась с 7,5–8,0 до 1,2–2,5 мм. Рассмотрены результаты оценки усталостной долговечности и опыт эксплуатации покрытий. Показаны возможности упрощения производственного процесса и сокращения энергозатрат за счёт исключения отдельной стадии приготовления модифицированного битума. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности сухого ввода полимерных добавок для повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к транспортным и температурным нагрузкам.

Ключевые слова: асфальтобетон, сухой ввод полимеров, полимерные добавки, модификация битума, колееустойчивость, усталостная долговечность, дорожные покрытия, мостовые покрытия.

Введение

За последние годы качество применяемых материалов и выполняемых работ при устройстве дорожной одежды в странах Европы, Азии, СНГ, Америки и Африки существенно улучшилось. Это в значительной степени связано с внедрением новых технологий, стандартов и использованием современных строительных материалов, обеспечивающих долговечность и надежность дорожного покрытия. Однако, учитывая климатические изменения и растущую интенсивность транспортных нагрузок, вопрос обеспечения стабильности и температуростойкости асфальтобетонных покрытий становится все более актуальным.

Проблемы, связанные с физическими и химическими свойствами битумов, используемыми в качестве связующего элемента в асфальтобетонных смесях, нуждаются в углубленных исследованиях и новых технологических подходах. Модификация битума полимерами и другими добавками может существенно повысить стойкость асфальтобетонного покрытия к внешним воздействиям, таким как температурные колебания, воздействие влаги и механические нагрузки. Этот вопрос неоднократно

поднимался в различных научных публикациях, таких как "Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances" (Applied Sciences) и "Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами" (Аюпов Д.А., Потапова Л.И.) и многих других. Однако, как свидетельствуют научные исследования, особенности битумов, произведённых методом дистилляции, либо значительно усложняют его модификацию, либо делают её практически невозможной. Также непостоянство показателей битумов и несоответствие паспортным характеристикам требуют поиска альтернативных решений для получения качественного асфальтобетонного покрытия.

Цель работы

Целью этой работы является привлечение внимания экспертов и специалистов отрасли дорожного строительства к альтернативной технологии модификации асфальтобетонных смесей, которая позволяет достигать стабильных эксплуатационных характеристик покрытия вне зависимости от нестабильности свойств исходного битума. Особое внимание уделено применению полимерных добавок, которые могут компенсировать недостатки современных битумов, особенно полученных дистилляционным методом, в частности, их низкую способность к модификации полимерами. Эта технология призвана обеспечить стабильность и продолжительность эксплуатации дорожных покрытий в условиях значительных температурных колебаний и повышенных нагрузок от транспорта.

Исследования направлены на поиск оптимального процесса модификации полимерами, который обеспечит необходимые физико-механические характеристики асфальтобетона, износостойкость и длительный срок эксплуатации дорожной одежды. Не считая того, принципиальной целью является упрощение процесса модификации и снижение издержек на создание качественных покрытий.

Методология

Активное развитие дорожно-строительной отрасли в развивающихся и развитых странах мира и увеличение объемов строительства автомобильных дорог требует значительного улучшения качества материалов, используемых в процессе укладки асфальтобетонных покрытий. Среди основных компонентов, определяющих долговечность дорожного покрытия, немаловажную роль играет асфальтобетонная смесь. Она должна не только выдерживать динамические нагрузки от транспорта, но и демонстрировать устойчивость к резким изменениям температуры, влиянию атмосферных осадков и другим агрессивным факторам внешней среды.

Ключевым элементом, определяющим свойства асфальтобетонных смесей, является битум, выполняющий функцию вяжущего материала, обеспечивая сцепление между частицами минеральных компонентов. Однако с углублением научных исследований в этой сфере было обнаружено, что качество исходного битума не всегда отвечает необходимым стандартам. Это обусловлено не только характеристиками самого сырья, но особенностями его производства, особенно при использовании битумов, полученных методом дистилляции на нефтеперерабатывающих заводах.

Битум как коллоидная система состоит из разнообразных химических соединений, которые обладают определенными свойствами и формируют его структуру. В зависимости от количественного соотношения этих компонентов, битум может иметь разную физическую структуру. Наиболее общепринятая модель битума описывает его как коллоидный раствор, в котором большие молекулярные структуры (мицеллы) связаны между собой посредством слабых водородных связей. Мицеллы образуются из асфальтеновых молекул, которые являются наиболее твердой частью битума, тогда как их

наружная поверхность стабилизируется смолами. Это обеспечивает структурную стойкость битума в коллоидной фазе.

На основе этой модели выделяют три основных структурных типа битума: "золь", "золь-гель" и "гель". Каждый из этих типов имеет свои специальные физико-химические характеристики. Например, битумы типа "гель" характеризуются высоким содержанием асфальтенов, делающих структуру битума более жесткой и хрупкой. В то же время битумы структуры "золь" отличаются более жидкой консистенцией, поскольку имеют высокое содержание масел и смол. Наиболее оптимальными для применения в производстве полимер-битумных связующих (ПБВ) являются битумы типа "золь-гель", поскольку они сочетают лучшие свойства обоих типов и обладают сбалансированными физико-механическими характеристиками.

Несмотря на это, процесс модификации битумов полимерами часто сталкивается с рядом затруднений. Одной из главных проблем является конкуренция между асфальтенами и полимерами за мальтеновую часть битума, которая является основной дисперсионной средой модификации. Во время этого процесса полимеры, вводимые в состав битума, должны приобрести стабильную дисперсионную фазу в среде, которая уже занята молекулами асфальтенов. Это существенно усложняет процесс набухания полимера и снижает эффективность модификации. Особенно это проявляется в случае битумов полученных дистиляционным методом, имеющих более низкое содержание асфальтенов, что делает их менее пригодными для модификации.

Для успешной модификации битумов полимерами необходимо обеспечить, чтобы исходный битум обладал оптимальными свойствами. В частности важно, как пример, чтобы глубина проникновения иглы при температуре 25 °C составляла от 60 до 90 мм$^{-1}$ для климата Восточной Европы. Однако реалии нефтеперерабатывающей промышленности заставляют производителей максимально использовать легкие фракции нефти, оставляя битум как остаточный продукт , что часто приводит к ухудшению его качества.

Технологии переработки нефти постоянно совершенствуются, позволяя максимально извлекать из сырья ценные светлые нефтепродукты – бензин, дизельное топливо, авиационный керосин, которые намного более дорогостоящие, чем битум. Современные методы, такие как глубокая переработка, гидрокрекинг и термическое крекирование, значительно увеличивают выход моторных топлив. Однако побочным эффектом этого процесса становится ухудшение качества битума, поскольку он остаётся остаточным продуктом с изменёнными структурными характеристиками.

Ранее битум получали преимущественно прямой перегонкой, что обеспечивало ему сбалансированный состав и стабильные эксплуатационные свойства. Сейчас же в производстве преобладают деструктивные процессы, при которых из нефти удаляются наиболее ценные компоненты, а оставшийся битум характеризуется низким содержанием высокомолекулярных соединений, нестабильностью структуры и повышенной склонностью к старению.

Кроме того, всё чаще нефтеперерабатывающие заводы используют сырье с высокой парафинистостью, что дополнительно снижает эластичность битума и ухудшает его адгезионные свойства. Особенно проблемными являются битумы, полученные методом дистилляции без последующего окисления. Они плохо взаимодействуют с большинством видов полимерных добавок, особенно таких как СБС, поскольку зачастую содержат недостаточное количество асфальтенов, необходимых для формирования устойчивой структуры. В результате для модификации такого типа битума, требуются дополнительные меры как использования пластификаторов и стабилизаторов в комплексе с повышением дозировки самой полимерной добавки или комбинирования нескольких добавок, что является достаточно дорогим решением для достижения нужных эксплуатационных характеристик. По сути, это делает модификацию битума крайне сложной и экономически нецелесообразной, т.к. финансовые затраты и технические риски не перекрываются возможным результатом.

В таких условиях производители асфальтобетонных смесей и дорожные службы вынуждены искать эффективные технологии и добавки, которые позволяют компенсировать недостатки современного битума и обеспечивающие долговечность дорожного покрытия.

Результаты и обсуждение

В последние годы спрос на дорожный битум в странах Европы, СНГ и Средней Азии значительно вырос, особенно в связи с реализацией масштабных инфраструктурных проектов, таких как строительство новых автомобильных дорог и реконструкция существующих транспортных артерий. Если в 2017 году общая потребность дорожной отрасли в битумах только в одной стране - Украине составляла около 350-400 тысяч тонн в год, то уже в 2021 году этот показатель вырос до 1,2-1,4 миллионов тонн. Рост спроса на битум привел к активному импорту дистилляционных битумов из стран Южной Европы и Азии. Однако эти битумы часто обладают свойствами, значительно отличающимися от требований стандартов, особенно для модификации полимерами.

В течение 2021-2024 годов группа компетентных экспертов провела более 90 испытаний различных образцов битума, производимых в Италии, Испании, Греции, Польше, Азербайджане, Иране и других странах. Обобщенные результаты этих исследований выявили серьезные проблемы с соответствием заявленных характеристик битума реальным показателям, в частности, по температуре размягчения и пенетрации. Более того, не была установлена четкая зависимость между начальными характеристиками битума и результатами модификации. Важно, что некоторые образцы вообще не подвергались модификации, даже при увеличении количества полимера и времени процесса модификации. Кроме того, готовая асфальтобетонная смесь иногда демонстрировала непредсказуемые физико-механические свойства, что требовало постоянной корректировки процесса модификации.

Еще одной проблемой, возникающей в процессе производства полимер-битумных вяжущих, является расслоение битума при хранении и транспортировке. Это приводит к тому, что при использовании модифицированного битума который частично или полностью расслоился, свойства готового АБС также могут существенно отличаться в разные периоды времени производства, что отрицательно сказывается на однородности и качестве итогового дорожного покрытия. Хуже всего, что специалистам асфальтных заводов и лабораторий очень часто нужно принимать сложные решения быстро, не имея достаточно времени на тесты и лабораторные испытания.

Альтернативой модификации битума является технология модификации асфальтобетонной смеси методом “сухого ввода”, как конечного продукта, с добавлением полимерной добавки, например ПКМ VELETON^{TM}, непосредственно в асфальтосмеситель, отвечающий требованиям ДСТУ 8959-2019, ГОСТ Р 58406.2-2020, СТ РК 2373-2019 и другим отраслевым стандартам.

Эта технология уже давно распространена и активно применяется дорожно-строительной отраслью передовых стран Европы и Азии, а также США и имеет определенные преимущества по сравнению с традиционной модификацией битума, а именно:

1) Качество и физико-механические свойства конечного продукта – асфальтобетонной смеси_, не существенно зависят от способности битума к модификации полимерами. Причина в том, что полимерная добавка “сухого ввода” работает с компонентами смеси, а именно со щебнем, в результате чего асфальтобетонная смесь получает прочные полимерные связи между компонентами, которые можно представить как полимерную 3D-решетку.

2) Существенно упрощается процесс изготовления асфальтобетонной смеси, потому что не требуется сложное и дорогостоящее оборудование для модификации битума полимерами, как коллоидная мельница и высокоскоростные мешалки. Также производитель существенно экономит время, потому что битум можно использовать сразу без типовой модификации 8-12 часов (как добавками типа СБС).

3) Нет необходимости существенно выгревать битум (выше температуры 165 ^{0}С), что не приводит к его быстрому окислению и старению.

4) Результаты использования добавки “сухого ввода” ПКМ всегда прогнозируемы и математически рассчитаны, в зависимости от типа АБС и количества полимера в смеси.

Таблица 1 – Анализ использования добавки «сухого ввода» на примере Украины в период 2020-2024 годов показывает следующие результаты

Наименование показателя	Асфальтобетонная смесь не модифицированная	Ввод добавки 2,2 кг на тонну смеси	Ввод добавки 2,5 кг на тонну смеси
Прочность на сжатие Р20	2,6 МПа	5,2 МПа	6,1 МПа
Прочность на сжатие Р50	1,24 МПа	2,05 МПа	2,4 МПа
Колея за 20 000 проходов, методом Гамбургского колеса	7,5-8 мм	2-2,5 мм	1,2-1,5 мм

Таблица 2 – Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических данных определение количества циклов нагрузки до разрушения образцов изучаемых асфальтобетонов с добавкой

Шифр асфальтобетона	Количество циклов до разрушения N_T, (теоретическая)	Количество циклов до разрушения N_E, (экспериментальная)	Δ, %
Температура: Т = +20 °С			
Б-20-6,0% битума	413	478	13,7
Ввод добавки 2,2 кг/тонна смеси	3843	4438	15,4
Ввод добавки 2,5 кг/тонна смеси	6379	7368	15,5

Полученные данные (Таблица 2) указывают, что теоретические расчеты согласовываются с экспериментальными данными. Это свидетельствует о возможности использования данных зависимостей в практических расчетах для обеспечения или прогнозирования долговечности асфальтобетонного покрытия на автомобильных дорогах и мостах от воздействия температуры и нагрузки транспортных средств, а также спрогнозировать его изменения во время эксплуатации в течение заданного промежутка времени.

Опыт использования ведущими дорожно-строительными компаниями стран Европы, СНГ и Средней Азии показал высокие, а главное повторяющиеся результаты, высокую устойчивость к нагрузкам, морозостойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий. Результаты тестов показывают, что асфальтобетонная смесь по всем показателям отвечает требованиям ДСТУ 8959-2019, ГОСТ Р 58406.2-2020, СТ РК 2373-2019 и другим отраслевым стандартам.

Примеры активного применения добавок сухого ввода.

Турция, автомагистраль D-100, участок Стамбул – Измит

На данном участке была использована технология прямого (сухого) ввода полимерной добавки в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума. Это позволило:

- Снизить образование колеи при температуре воздуха +45 °С до менее 2 мм (по результатам динамических испытаний);

- Повысить прочность на сдвиг дорожного покрытия на 60–70% по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума;

- Экономить 7 000–9 000 евро в неделю за счёт сокращения энергозатрат и исключения стадии гомогенизации битума.

Технология была реализована одним из ведущих подрядчиков Турции и одобрена национальной дорожной лабораторией. Опыт подтвердил её применимость в регионах с повышенной температурной нагрузкой и высокой интенсивностью движения.

Грузия, участки автодорог в г. Тбилиси, площадь “Авлабари”.

Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки ПКМ VELETON^{TM} в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума на базе завода JEO GROUP. Это позволило:

- Снизить образование колеи при температуре поверхности до +65 °С до 1,5 мм;

- Повысить прочность на сдвиг дорожного покрытия на 60–70% по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума;

Этот участок с применением полимерной добавки методом “сухого ввода” под наблюдением специалистов Муниципальной лаборатории уже более 3-х лет, замечаний к покрытию нет.

Казахстан, г. Астана, ул. Тлендиева. На данном участке дороги службы выполняли средний ремонт с фрезерованием не менее 2-х раз в год в связи с тем, что левая полоса является участком торможения тяжелого грузового транспорта перед светофором, и расчетные нагрузки превышают допустимые более чем в 2 раза. Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки ПКМ VELETON^{TM} в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума для нижнего слоя (плотный, крупнозернистый, А-40) и верхнего слоя (плотный, ЩМА-20). Это позволило:

-Не производить средний ремонт данного участка уже более двух лет;

- Повысить устойчивость к колееобразованию в 5-7 раз, по сравнению с участками, где использовалась традиционная модификация битума.

Украина, г. Киев, “Северный” мост. Ранее, на данном объекте, дорожными службами не менее одного раза в год производился текущий ремонт дорожного покрытия. Связано с высокими нагрузками на дорожное полотно и повышенной температурой верхнего слоя (в летний период).

Была использована технология “сухого ввода” полимерной добавки в асфальтосмеситель без предварительной модификации битума для верхнего слоя (плотный, мелкозернистый А-20).

На данный момент объект эксплуатируется уже более трех лет без каких-либо видимых дефектов и находится под ежеквартальным наблюдением дорожных служб города.

Экономические и временные затраты. В современном дорожном строительстве экономические и временные затраты играют ключевую роль, особенно в работе асфальтобетонного завода. Стоимость материалов, энергоносителей и логистики напрямую влияет на рентабельность проекта, а задержки в производстве могут привести к срывам графиков укладки, росту затрат на технику и рабочую силу.

Оптимизация производственных процессов, выбор экономически эффективных модификаторов и рациональное управление ресурсами позволяют снизить себестоимость смеси без потери качества. В условиях жёстких сроков строительства важно минимизировать время прогрева битума, дозирования компонентов и транспортировки асфальтобетона, чтобы обеспечить его укладку в оптимальном температурном режиме и избежать перерасхода материалов.

1. Энергозатраты и технология модификации

Модификация битума СБС полимером или аналогичным.

При использовании СБС-полимера (или аналогичного) битум предварительно разогревают до 180–190 °C (иногда выше) и вводят полимер в установках смешения. Это требует значительных энергозатрат на нагрев оборудования (реактора, мешалок, битумохранилища) и поддержание высокой температуры в течение всего процесса модификации. Также нередко требуется дополнительное время и энергия для сшивки (гомогенизации) СБС с битумом. В итоге полученное полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) нужно хранить при повышенной температуре, что продолжает «потреблять» энергию и создает риск термоокислительной деструкции битума и полимерной добавки при долгой выдержке.

«Сухая» модификация асфальтобетонной смеси.

При “сухом вводе” полимерной добавки (в виде гранул) ее добавляют непосредственно в смеситель при производстве асфальтобетонной смеси, вместе с минеральными материалами. Температура битума не меняется относительно обычного асфальта (без полимеров) и составляет около 155–160 °C, а отдельного процесса гомогенизации битума с полимером не требуется, т.к. полимерная добавка “сухого ввода” равномерно размешивается в асфальтобетонной смеси, расплавляется, контактируя с разогретыми каменными материалами, и затем связывает между собой все компоненты асфальтобетонной смеси.

Это очень положительно влияет свойства битума, т.к. не происходят окислительные и термодеструктивные процессы, ароматические углеводороды остаются в составе битума, а не “выгорают”, как при модификации добавками типа СБС. Это позволяет сохранить дуктильность и пластичность битума.

С энергетической точки зрения отсутствует дополнительный цикл высокотемпературного смешения битума с полимером. Поэтому суммарные расходы на поддержание температур и перемешивание существенно ниже, чем при классическом варианте производства ПБВ.

2. Затраты времени

Модификация битума СБС полимером или аналогичным.

Необходима отдельная стадия на заводе (или в рамках внешней установки) для приготовления ПБВ: нагрев битума (4-5 часов), дозирование, гомогенизация (6-8 часов), выдержка/термостабилизация (4-6 часов), анализ качества. Все эти действия удлиняют технологический цикл (не менее чем на 8-12 часов) и требуют исключительно высококвалифицированного персонала. При неудачном хранении ПБВ (несоблюдение температурного режима) возможна расслаиваемость и потеря свойств.

«Сухая» модификация асфальтобетонной смеси

В данной технологии этап модификации встроен непосредственно в процесс производства асфальта. Полимер вводится в смесь одновременно с минеральными компонентами (щебнем и наполнителем) с помощью дозатора. Это позволяет отказаться от отдельной стадии предварительного смешения полимерной добавки с битумом. Такой подход отвечает актуальным требованиям дорожно-строительной отрасли, базируется на современных технологичных решениях, исключает влияние человеческого фактора и снижает риск ошибок при модификации. В результате — процесс становится более эффективным, временные и финансовые затраты на модификацию исключаются, а контроль качества становится более стабильным и предсказуемым.

Вывод

При масштабном производстве (несколько сотен или тысяч тонн асфальтобетона в сутки) разница в энергозатратах между модификацией битума (добавками типа СБС или другими) и “сухим вводом” полимера может достигать 9 000 - 11 000 долларов в месяц, что за строительный сезон превращается в значительную сумму.

Кроме того, «сухая» модификация асфальтобетонной смеси, при которой гранулированные добавки вводятся непосредственно в смеситель вместе с минеральными материалами и битумом, позволяет значительно упростить производственный процесс на асфальтобетонных заводах. Такой подход устраняет необходимость в отдельной стадии приготовления модифицированного битума, что в свою очередь избавляет от затрат на дополнительное оборудование для ввода, дозирования и гомогенизации полимера в битуме. Отпадает потребность в длительном перемешивании и выдержке битума при высокой температуре для растворения добавки.

Это позволяет существенно экономить время и сокращать операционные расходы. Заводу не требуется держать в резерве отдельные битумные ёмкости для разных типов вяжущего (обычного и модифицированного), что особенно актуально для небольших и мобильных производств. Снижается расход энергии, уменьшаются потери материала при переходах с одной партии на другую.

Применение “сухого метода” модификации положительно сказывается и на укладочных свойствах асфальтобетонной смеси. Такой материал легче уплотняется при стандартных технологических режимах благодаря равномерному распределению модификатора прямо в теле смеси. Это снижает риск образования пустот, разрывов и уплотненных зон в готовом покрытии, что напрямую влияет на долговечность и прочность дороги.

Кроме того, «сухая» модификация снижает вероятность технологических ошибок, которые часто возникают при приготовлении модифицированного битума на заводе. В традиционной технологии возможны такие проблемы, как:

-неполное или неравномерное растворение полимера в битуме;

- перегрев и термическое разрушение полимерной структуры;

- расслоение и нестабильность полученного вяжущего при хранении;
- путаница при работе с несколькими типами битума.

При методе “сухого ввода” эти риски сводятся к минимуму, так как модификация происходит непосредственно в процессе производства асфальтобетонной смеси, без сложных операций на битумном хозяйстве. Это делает технологию более стабильной, воспроизводимой и удобной для заводов.

Заключение

Вопрос модификации битумов и асфальтобетонных смесей становится всё более актуальным, поскольку не все битумы обладают достаточной способностью к модификации полимерами и необходимым качеством. Это подталкивает производителей искать альтернативные методы существенного улучшения свойств асфальтобетона, учитывая особенности компонентов смеси. Одним из проверенных и эффективных решений является добавление полимерных добавок непосредственно в асфальтосмеситель.

Данный метод обладает рядом существенных преимуществ перед традиционной модификацией битума полимерами. Во-первых, качество модификации становится независимым от технологии производства битума, что особенно важно при работе с дистилляционными битумами, плохо взаимодействующими с полимерами. Во-вторых, экономятся время и энергетические ресурсы, так как исключается необходимость длительного разогрева и гомогенизации полимер-битумных вяжущих. В-третьих, снижается риск термического старения битума, так как температура его нагрева не превышает рабочих значений в асфальтосмесителе. В результате производители получают более прогнозируемые и стабильные свойства асфальтобетонной смеси, что упрощает контроль качества на производстве и снижает риск возникновения дефектов покрытия.

При активной поддержке ведущих производителей асфальтобетонных смесей, профильных научно-исследовательских институтов и инженерного сообщества, технология “сухого ввода” полимерных добавок не просто зарекомендовала себя, но и утвердилась как

полноправный и высокоэффективный метод модификации битума не уступающий, а по ряду ключевых параметров и превосходящий классическую технологию модификации битума. Именно поэтому она всё шире применяется как оптимальное решение, отвечающее современным требованиям отрасли к качеству, технологичности и экономической эффективности.

Список литературы

1. Porto M., Caputo P., Loise V., Eskandarsefat S., Teltayev B., Oliviero Rossi C. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, No. 4. Article 742. DOI: 10.3390/app9040742

2. Аюпов Д. А., Потапова Л. И., Мурафа А. В., Фахрутдинова В. Х., Хакимуллин Ю. Н., Хозин В. Г. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 1(15). – С. 140-146. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/arkhiv-zhurnala?idizv=30&sod=sod1_2011

Ayupov D. A., Potapova L. I., Murafa A. V., Fakhrutdinova V. Kh., Khakimullin Yu. N., Khozin V. G. Issledovanie osobennostey vzaimodeystviya bitumov s polimerami // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. – 2011. – No. 1(15). – P. 140–146. [Study of the Specific Features of the Interaction of Bitumens with Polymers]. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhernala/arkhiv-zhurnala?idizv=30&sod=sod1_2011

3. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 145, No. 1–2. P. 42–82. DOI: 10.1016/j.cis.2008.08.011

4. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna G. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility // Advances in Colloid and Interface Science. 2015. Vol. 224. P. 72–112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010

5. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges // European Polymer Journal. 2014. Vol. 54. P. 18–38. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005

6. Lastra-González P., Calzada-Pérez M. A., Castro-Fresno D., Vega-Zamanillo Á., Indacoechea-Vega I. Comparative analysis of the performance of asphalt concretes modified by dry way with polymeric waste // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 112. P. 1133–1140. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.156

7. Movilla-Quesada D., Raposeiras A. C., Silva-Klein L. T., Lastra-González P., Castro-Fresno D. Use of plastic scrap in asphalt mixtures added by dry method as a partial substitute for bitumen // Waste Management. 2019. Vol. 87. P. 751–760. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.018

8. Modarres A., Hamedi H. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // Materials & Design. 2014. Vol. 61. P. 8–15. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.04.046

9. Poulikakos L. D., Pasquini E., Tusar M. et al. RILEM interlaboratory study on the mechanical properties of asphalt mixtures modified with polyethylene waste // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 375. Article 134124. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134124

10. Eskandarsefat S., Venturini L., Ciarlitti A., Sogno E., Ottonelli I. Asphalt Concrete Modification with Plastomers: A Case Study Conducted 7 Years after Construction // Infrastructures. 2022. Vol. 7, No. 3. Article 29. DOI: 10.3390/infrastructures7030029

Сведения об авторах:

Леван Гвелесиани – докторант кафедры «Дорожное строительство», Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия, levangvelesiani@gmail.com.

Сергей Парфёнов – аспирант кафедры «Мосты и тоннели», Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Леван Гвелесиани – Грузия техникалық университетінің «Жол құрылысы» кафедрасының докторанты, Тбилиси, Грузия, levangvelesiani@gmail.com.
Сергей Парфёнов – Ұлттық көлік университетінің «Көпірлер мен тоннельдер» кафедрасының аспиранты, Киев, Украина, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Levan Gvelesiani – PhD student, Department of Road Construction, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, levangvelesiani@gmail.com.
Sergey Parfyonov – postgraduate student, Department of Bridges and Tunnels, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sergey.parfyonov.dp@gmail.com.

Вклад авторов:
Леван Гвелесиани – концепция исследования, методология, проведение исследований, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.
Сергей Парфёнов – обзор литературы, анализ и интерпретация результатов, визуализация данных, редактирование текста статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

КӨЛІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ МЕН КӨПІРЛЕРІНДЕГІ АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНДЫЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ СИПАТТАМАЛАРЫН ПОЛИМЕРЛЕРМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ КЕЗІНДЕ «ҚҰРҒАҚ ЕНГІЗУ» ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ

Гвелесиани Леван[1,*], Парфёнов Сергей[2]

[1] Грузия техникалық университеті, Тбилиси, Грузия
[2]Ұлттық көлік университеті, Киев, Украина
[*]Корреспондет автор: levangvelesiani@gmail.com

Аңдатпа. Автомобиль жолдары мен көпірлердің асфальтбетон жабындарының пайдалану сипаттамаларын арттыру мақсатында полимерлік қоспаларды «құрғақ енгізу» әдісімен қолдану қарастырылды. Битумды полимерлермен алдын ала модификациялау технологиясының шектеулері, атап айтқанда, бастапқы байланыстырғыштың құрамының өзгермелілігіне, компоненттердің үйлесімділігіне және полимер-битум байланыстырғыштарының сақтау кезіндегі тұрақтылығына байланысты мәселелер талданды. Асфальт араластырғышқа тікелей енгізілетін «ПКМ» VELETON полимерлік қоспасын қолдану нәтижелері келтірілді. Ұсынылған деректерге сәйкес, қоспаның 1 тоннасына 2,2–2,5 кг мөлшерінде енгізілген кезде асфальтбетонның 50 °C температурадағы сығылу беріктігі 1,24 МПа-дан 2,05–2,40 МПа-ға дейін артқан, ал доңғалақтың 20 000 рет өтуінен кейінгі колея тереңдігі 7,5–8,0 мм-ден 1,2–2,5 мм-ге дейін төмендеген. Шаршауға төзімділікті бағалау нәтижелері және жабындарды пайдалану тәжірибесі қарастырылды. Модификацияланған битумды дайындаудың жеке кезеңін алып тастау арқылы өндірістік процесті оңайлату және энергия шығындарын қысқарту мүмкіндіктері көрсетілді. Алынған нәтижелер полимерлік қоспаларды құрғақ енгізу әдісінің асфальтбетон жабындарының көліктік және температуралық жүктемелерге төзімділігін арттырудағы перспективалылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: асфальтбетон, полимерлерді құрғақ енгізу, полимерлік қоспалар, битумды модификациялау, колея түзілуге төзімділік, шаршауға төзімділік, жол жабындары, көпір жабындары.

ENHANCING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS ON ROADS AND BRIDGES OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE THROUGH THE USE OF THE "DRY PROCESS" METHOD FOR POLYMER MODIFICATION

Levan Gvelesiani[1,*], Sergey Parfyonov[2]

[1]Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
[2]National Transport University, Kyiv, Ukraine
*Corresponding author: levangvelesiani@gmail.com

Abstract. The application of polymer additives using the "dry process" method to improve the performance characteristics of asphalt concrete pavements on roads and bridges was investigated. The technological limitations of the pre-modification of bitumen with polymers were analysed, including variability in the composition of the initial binder, component compatibility, and the storage stability of polymer-modified binders. The results of using the "PKM" VELETON polymer additive, which is introduced directly into the asphalt mixing plant, are presented. According to the reported data, at a dosage of 2.2–2.5 kg per tonne of asphalt mixture, the compressive strength of asphalt concrete at 50 °C increased from 1.24 to 2.05–2.40 MPa, while the rut depth after 20,000 wheel passes decreased from 7.5–8.0 to 1.2–2.5 mm. The results of fatigue durability assessment and field performance experience are also considered. The study demonstrates the potential for simplifying the production process and reducing energy consumption by eliminating the separate stage of preparing polymer-modified bitumen. The obtained results indicate the potential of the dry incorporation of polymer additives for improving the resistance of asphalt concrete pavements to traffic and temperature-induced loads.

Keywords: asphalt concrete, dry incorporation of polymers, polymer additives, bitumen modification, rutting resistance, fatigue durability, road pavements, bridge pavements.



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