



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӘБІЕК МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛТҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

QAZAQ HIGHWAY
SCIENCE AND INNOVATION





QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ

«ҚазжолҒЗИ» АҚ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АО «КаздорНИИ»

QAZAQ HIGHWAY SCIENCE AND INNOVATION

Рецензируемый журнал открытого доступа, зарегистрированный Министерством культуры и информации Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на учет № KZ25VPY00119665 от 26.04.2024

ISSN (Online): 3008-1491

Учредитель: АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

Тематическая направленность: публикация научных материалов по вопросам проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений, а также диагностики автомобильных дорог

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амирбаев Ерик Дихамбаевич – Вице-президент АО «КаздорНИИ»

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

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

Тілеу Кұрманғазы Байғазыұлы – доктор PhD, руководитель управления цифровизации

Токпатаева Райхан Уалихановна - доктор PhD, старший специалист лабораторного отдела, Школа Строительной Инженерии им. Лайлс, Университет Пурдью (Purdue University)

Жумагулова Адия Аскарровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

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

Смагулова Мария Кусайновна – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Периодичность выхода: 4 раза в год

Адрес: Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жекебатыр, 35

Тел.: +7 (7172) 72-98-17

E-mail: qazjolgzi@gmail.com

Сайт: <https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru>

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *А. Смольянинов, А. Қожахмет, Б. Чугулев*
**АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНА АРНАЛҒАН
МОДИФИКАТОРЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ** 4
2. *Н.Паневин, А.Пронина, О.А. Михайлова*
**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ
ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА 11
ДОРОЖНОЕ АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ**
3. *Г. Арипбеков*
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНО- 23
БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**
4. *Ұ. Шангерей*
**УЛУЧШЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ БИТУМНЫХ 29
ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ**
5. *Д. Бекетов*
**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
СИМУЛЯЦИЯ ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ЗДАНИЙ НА 35
ПОТРЕБЛЕНИИ ЭНЕРГИИ В АСТАНЕ**
6. *А. Айкенова, С. Ашимова, Қ. Тілеу, Ә. Низметова*
**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ РАСШИРЕНИЯ БЕТОННОЙ 49
ДОРОГИ**



АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНА АРНАЛҒАН МОДИФИКАТОРЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

<https://orcid.org/0009-0006-8091-9499>  Анатолий Смольянинов¹, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  Ару
Қожахмет^{1*}, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797>  Бексултан Чугулев²

¹«НТС-Қазақстан» ЖШС (Астана, Қазақстан)

²«ҚазжолҒЗИ» АҚ (Астана, Қазақстан)

*Корреспондент автор: arukozhahmet@mail.ru

Аннотация. Жол төсемдерін пайдаланудың қазіргі заманғы жағдайларында олардың ұзақ мерзімділігі мен сенімділігіне қойылатын талаптардың өсуі байқалады. Климаттың күрт өзгеруі, қарқынды көлік қозғалысы агрессивті ортаның қозғалысы мен әсері асфальтбетон қоспаларының құрамын жақсартуды талап етеді. МемСТ 9128-2013 стирол-бутадиен-стирол (СБС) типті блок-полимерлерге негізделген полимерлі-битумды байланыстырғыштарды (ПББ) қолдана отырып, жарыққа төзімділік және шаршау беріктігі сияқты физикалық-механикалық сипаттамаларды ескеретін полимерасфальтбетон қоспаларына арналған нормативтерді енгізеді. Модификаторларды, соның ішінде полимерлер мен резеңке үгіндісін пайдалану жол төсемінің қызмет ету мерзімін ұзартудың және ақауларын азайтудың тиімді құралы ретінде танылады, бұл отандық және шетелдік зерттеулермен расталады.

Түйінді сөздер: модификацияланған асфальтбетон, полимер-битумды байланыстырғыш, стирол-бутадиен-стирол, резеңке ұнтағы, деформацияға төзімділік.

Кіріспе

Бұл зерттеу жұмысы жол жабындарының беріктігін арттырудың оңтайлы нұсқаларын анықтау мақсатында асфальтбетон қоспаларының физика-механикалық сипаттамаларына модификаторлардың әртүрлі түрлерінің әсерін бағалауға бағытталған. Нысан-модификаторлардың әртүрлі түрлері мен дозалары бар асфальтбетон қоспалары. Осы қоспаларды өзгерту кезінде беріктік, деформация және пайдалану қасиеттерінің өзгеруі зерттеледі.

Қолданылатын модификаторларға полимерлі қоспалар (СБС, ПББ), қайта өңделген резеңке үгіндісі және күрделі органикалық қосылыстар жатады [3]. Оларды битумға енгізу материалдың тұтқырлығын арттырады, минералды негізге адгезияны жақсартады және температураның өзгеруіне және механикалық зақымға төзімділікті арттырады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы континентальды климат жағдайында алғаш рет қолданылатын, сол минералды матрицадағы әртүрлі модификаторлары бар қоспаларды салыстырмалы талдаудан тұрады, бұл ең тиімді композицияларды анықтауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттерге шолу полимерлі модификацияланған битумдарды қолдану жол төсемдерінің икемділігі мен беріктігін едәуір арттырып, жарықтар мен жолдардың пайда болу ықтималдығын төмендететінін көрсетеді [4,5]. Отандық зерттеулер сонымен қатар экологиялық және техникалық артықшылықтарды біріктіретін резеңке үгінділерін қолданудың экономикалық тиімділігін растайды. Модификатор құрылымының

оның тиімділігіне әсері бірнеше өзара байланысты факторларға, соның ішінде бөлшектердің пішініне, мөлшеріне және таралуына, сондай-ақ құрылымның пайда болу процестеріне және материал матрицасымен өзара әрекеттесуіне әсер ететін химиялық және супрамолекулалық құрылымға байланысты.

Әдістеме

Модификатор бөлшектерінің өлшемі мен олардың матрицада таралу сипаты материалдың құрылымдық қалыптасуына және оның эксплуатациялық қасиеттеріне елеулі әсер етеді. Зерттеулер көрсеткендей, бөлшектердің микрондық және әсіресе наномөлшерге дейін ұсақталуы олардың беткі жанасу ауданын едәуір арттырып, матрицамен әрекеттесу тиімділігін жоғарылатады [1,2]. Мұндай ұсақ бөлшектердің біркелкі таралуы кристалдану орталықтарының санын бірнеше есе – 2–5 есеге дейін – арттырады, бұл өз кезегінде материалдың құрылымдық белсенділігін күшейтіп, модификацияның жалпы тиімділігін жақсартады [1]. Соның нәтижесінде тығыз әрі біртекті құрылым қалыптасып, физика-механикалық қасиеттердің жоғарылауына ықпал етеді.

Модификатор бөлшектерінің пішіні мен морфологиялық сипаттамалары да олардың әсер ету тиімділігінде маңызды рөл атқарады. Дамыған беткейге ие бөлшектер (мысалы, талшықты немесе кедір-бұдырлы пішінділер) матрицамен әрекеттесуді күшейтіп, армируші әсерді арттырады [2,3]. Құрылымдық белсенділігі жоғары толтырғыштар, әсіресе көміртекті нанобөлшектер, полимерлі композиттің надмолекулалық құрылымына әсер етіп, тозуға төзімділік пен ұзақ мерзімділікті арттырады [2].

Модификатордың химиялық құрамы оның битум немесе полимерлік матрицамен өзара диффузиялану дәрежесін анықтайды. Зерттеулер көрсеткендей, резеңке ұнтағы немесе гибриді модификаторлар қолданылғанда органикалық қосылыстардың топтық құрамында елеулі өзгерістер байқалады, бұл тұтқыр заттың құрылымында химиялық байланыстардың қалыптасқанын және қайта ұйымдасу үдерістерінің жүргенін көрсетеді [4]. Мұндай өзара диффузия тұрақты құрылымдық блоктардың түзілуіне септігін тигізіп, материалдың физика-химиялық тұрақтылығын арттырады.

Модификаторды енгізу технологиясы мен процесс параметрлері де құрылым түзілуге тікелей әсер етеді. Температуралық режим, араластыру

уақыты сияқты факторлар бөлшектердің дисперсиялану дәрежесін және композиттің құрылымдық сапасын айқындайды [5,6]. Оптималды технологиялық жағдайлар кезінде модификатор біркелкі таралып, тиімді құрылым түзіледі, бұл жабынның немесе композициялық материалдың гидрофобтығын және механикалық қасиеттерін арттырады [6,7].

Осылайша, модификатор бөлшектерінің құрылымын оңтайландыру – яғни олардың өлшемін кішірейту, пішінін жетілдіру, таралу сипатын жақсарту және химиялық құрамын басқару – матрицамен әрекеттесу ауданын арттырып, композиттің ішкі құрылымын дамытуға мүмкіндік береді. Мұндай жетілдірулер модификация тиімділігін арттырып, материалдың беріктігі, тозуға төзімділігі, гидрофобтылығы және басқа да маңызды эксплуатациялық сипаттамаларын едәуір жақсартады.

Жұмыста пайдаланылған негізгі материалдар 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте – Зерттеуде қолданылған материалдар

Компонент	Атауы
Битум	БНД 100/130
Түрлендіргіш 1 (M1)	Полимерлі блоқты полимер
Түрлендіргіш 2 (M2)	ПББ құрамындағы полибутил каучук
Түрлендіргіш 3 (M3)	Түрлендірілген резеңке ұнтағы
Қиыршық тас	Гранитті, фр. 5-20 мм

Құм	Фр. 0-5 мм қиыршық тасты ұсақтауда електен өткізілген
Минералды ұнтақ	белсендірілген МП-1 маркасы

Сынамаларды дайындау модификаторларды асфальтбетон қоспасына 180 ± 5 °С температурада қосып, содан кейін араластырып, үлгілерді қалыптастыра отырып, стандартты қоспаларды дайындаудан тұрды[10]. Физика-механикалық қасиеттердің көрсеткіштері СТ РК 2373 стандартының талаптарына және СТ РК 1218 стандарты бойынша сынақ әдістеріне сәйкес үлгілерді сынау арқылы анықталды.

Нәтижелер мен пікірталас

Жүргізілген зертханалық зерттеулер мен салыстырмалы талдау нәтижелері асфальт қоспасына әртүрлі модификаторлар енгізудің оның физика-механикалық қасиеттері мен ұзақ мерзімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.



Сурет 1 – Модификатор түріне байланысты асфальтбетонның негізгі физика-механикалық қасиеттері

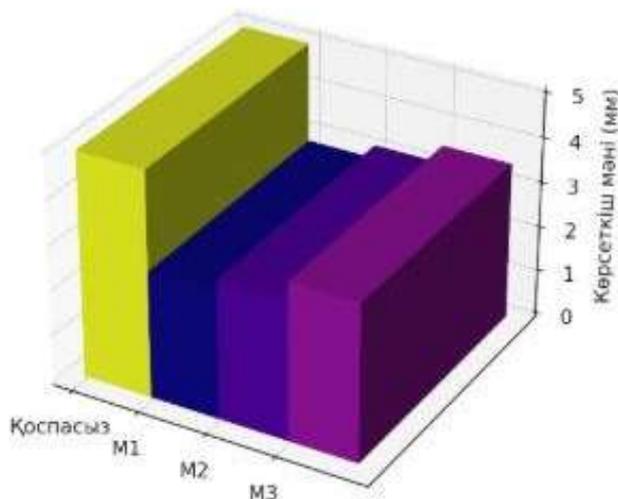
Кесте 1 – Асфальтбетон үлгілерінің негізгі физика-механикалық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Қоспасыз	М1 (блокты полимер)	М2 (ПБВ) (полибутилкаучук)	М3 (резенке ұнтағы)
20 °С-та қысу кезіндегі беріктік, МПа	1,27	1,57	1,52	3,4
Су сіңіргіштік, %	3,4	2,1	2,29	1,65
Жарыққа төзімділік, МПа	3	3,2	3,41	3,50
Ішкі үйкеліс коэффициенті, %	92*	92	94	94-96
Орташа беріктік (шартты), МПа	≈2,22	1,57	1,52	3,45
Қоля тереңдігі, мм	5,0	2,8	3,1	3,5

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде ең жоғары техникалық көрсеткіштер М3 модификаторын (резеңке ұнтағы, 5%) пайдаланған жағдайда байқалды. Бұл құрам 20 °С температурада 3,4 МПа деңгейіндегі сығуға беріктік көрсетіп, зерттелген басқа барлық модификацияланған және модификацияланбаған асфальтбетон үлгілерінен асып түсті. Су сіңіргіштік мәні 1,65% құрап, материалдың суға төзімділігі жоғары екендігін дәлелдеді. Сонымен қатар, жарыққа төзімділік көрсеткіші 3,50 МПа деңгейінде тіркелсе, қабатталып ажырауға (ішкі үйкеліс коэффициенті) төзімділігі 94–96% аралығында болды. Бұл нәтижелер модификацияланған асфальтбетонның құрылымдық тұрақтылығы мен ұзақмерзімді пайдалану сенімділігін айғақтайды.

Салыстырмалы түрде қарастырғанда, М1 (блокты полимер негізіндегі модификатор) және М2 (полибутилкаучукті ПБВ модификаторы) түрлері де асфальтбетон қоспасының физико-механикалық қасиеттерін жақсартқаны анықталды. Атап айтқанда, М1 модификаторы енгізілген үлгіде қысу кезіндегі беріктік 1,57 МПа, ал М2 модификаторында – 1,52 МПа деңгейінде болды. Жарыққа төзімділік көрсеткіштері тиісінше 3,2 МПа (М1) және 3,41 МПа (М2) деңгейінде тіркелді. Су сіңіргіштік бойынша М1 – 2,1%, ал М2 – 2,29% нәтижелер көрсетті. Қабатталып ажырауға төзімділік көрсеткіштері де салыстырмалы түрде жоғары болып, сәйкесінше 92% және 94% деңгейінде байқалды.

Колея тереңдігі бойынша да айтарлықтай айырмашылықтар анықталды: М1 үлгісінде – 2,8 мм, М2 үлгісінде – 3,1 мм, ал М3 үлгісінде бұл көрсеткіш 3,5 мм- ге жетті. Аталған көрсеткіштер жол жабындарының деформацияға қарсы тұру қабілетін бағалауда маңызды рөл атқарады.



Сурет 1 – Асфальтбетонның колея тереңдігі бойынша 3D диаграммасы

Бақылау үлгісі ретінде қарастырылған модификаторсыз асфальтбетон барлық негізгі көрсеткіштер бойынша ең төмен нәтижелер көрсетті. Атап айтқанда, 20 °С-та қысу кезіндегі беріктік – 1,27 МПа, су сіңіргіштік – 3,4%, жарыққа төзімділік – 3,0 МПа, колея тереңдігі – 5,0 мм және қабатталып ажырауға төзімділік – 92% деңгейінде тіркелді. Бұл нәтижелер модификатор қолданылмаған асфальтбетонның ұзақмерзімді пайдалану жағдайында құрылымдық сенімділігі мен төзімділігі төмен екендігін көрсетеді.

Қорытынды

Асфальттың сапалық көрсеткіштерін жақсарту және пайдалану мерзімін ұзарту үшін заманауи полимерлі-композитті модификаторларды, соның ішінде түрлендірілген

резеңке ұнтағы негізіндегі МЗ тәрізді кешенді қоспаларды қолдану аса тиімді. Бұл модификатор битуммен жақсы әрекеттесіп, оның ішінде торлы микроструктура түзіп, материалдың беріктігі мен климаттық әсерлерге төзімділігін едәуір арттырады. Ал дәстүрлі резеңке немесе жеке полимерлі модификаторлар (М1–М3) кейбір сипаттамаларды жақсартқанымен, түрлендірілген резеңке ұнтағы негізіндегі МЗ сияқты кешенді модификациялармен салыстырғанда тиімділігі төмен. Сондықтан қолданылатын модификатордың түрін дұрыс таңдау – жол жамылғысының сапасы мен төзімділігін арттырып, жөндеу және күтім шығындарын азайтуға, сондай-ақ қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. GOST 9128–2013. Asphalt concrete mixtures, asphalt concrete and asphalt emulsions for road construction. Russian Federation State Standard. – [Electronic resource] – Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104521> (Accessed: 16.07.2025)
2. Lu X., Isacson U. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 13, No. 1. – P. 21–29.
3. Judycki J., Jaskula P., Górski M. Evaluation of asphalt mixtures with polymer modified bitumen // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, No. 8. – Article 3467. <https://doi.org/10.3390/ma15083467>
4. Airey G.D., Rahman M.M., Collop A.C. Mechanical performance of bituminous materials with polymer modifiers // *Road Materials and Pavement Design*. – 2017. – Vol. 18. – P. 121–136.
5. Sun L., Zhang H., Chen X. A review on the rubber modified asphalt binders // *Construction and Building Materials*. – 2021. – Vol. 289. – Article 123191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123191>
6. Zeng M., Zhang K., Wang Y. Advances in polymer and rubber modified bitumen for road construction // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2020. – Vol. 7, No. 1. – P. 1–18.
7. Butyrov V.A., Suchkov N.Y. Effect of rubber powder on asphalt concrete performance // *Roads and Bridges*. – 2021. – No. 6. – P. 33–37.
8. Yumashyev V.A., Utytsyn I.A. Influence of polymer modifiers on road pavement quality // *TISIUR Bulletin*. – 2020. – No. 11. – P. 58–64.
9. Radkevich N.S. Application of SBS polymers in asphalt modification // *Transport Construction Journal*. – 2018. – No. 3. – P. 14–19.
10. ASTM D2872–12. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on Asphalt Materials (Rolling Thin-Film Oven Test). ASTM International. – 2012.
11. Whiteoak D. *The Shell Bitumen Handbook*. – 5th ed. – London: Thomas Telford Publishing, 2003. – 468 p.
12. Michael S. *Asphalt Mixtures and Polymer Additives*. – Springer, 2016. – 312 p.
13. James A., Bailey H. *Advances in Modified Asphalt Technology*. – Wiley, 2020. – 255 p.
14. Li X., Xiao F., Amirkhanian S. Laboratory evaluation of high performance rubberized asphalt binders and mixtures // *Journal of Materials in Civil Engineering*. – 2019. – Vol. 31, No. 2. – P. 04018383.
15. FHWA (Federal Highway Administration). *Polymer Modified Asphalt Binders*. – U.S. Department of Transportation, 2021. – [Electronic resource] – Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/21015/index.cfm>

Сведения об авторах:

Смолянинов Анатолий – физика-механика ғылымдарының кандидаты, «НТС-Қазақстан» ЖШС, Астана, Қазақстан, nts.kazakhstan@mail.ru.

Смольянинов Анатолий-кандидат физико-механических наук, ТОО «НТС-Казакстан», г. Астана, Казакстан, nts.kazakstan@mail.ru.
Smolyaninov Anatoly – candidate of physical and Mechanical Sciences, NTS-Kazakhstan LLP, Astana, Kazakhstan, nts.kazakstan@mail.ru.

Қожахмет Ару – магистр, «НТС-Қазақстан» ЖШС, Астана, Қазақстан, arukozhahmet@mail.ru.

Қожахмет Ару – магистр, ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Қазақстан, arukozhahmet@mail.ru. Kozhakhmet Aru-master, LLP "NTS-Kazakhstan", Astana, Kazakhstan, arukozhahmet@mail.ru.

Чугулев Бексултан – магистр, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан, beksultan_d@mail.ru.

Чугулев Бексултан – магистр, АО «КаздорНИИ», Астана, Қазақстан, beksultan_d@mail.ru.
Chugulyov Beksultan – Master's Degree, KazdorNII JSC, Astana, Kazakhstan, beksultan_d@mail.ru.

Вклад авторов:

Смольянинов Анатолий - методология, ресурсы, сбор данных.

Қожахмет Ару - моделирование, анализ, визуализация, интерпретация.

Чугулев Бексултан - концепция, методология, моделирование, анализ.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

<https://orcid.org/0009-0006-8091-9499>  Анатолий Смольянинов¹, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  Ару Қожахмет^{1*}, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797>  Бексултан Чугулев²

¹ТОО «НТС-Казакстан» (Астана, Казакстан)

²АО «КаздорНИИ» (Астана, Казакстан)

*Корреспондент автор: arukozhahmet@mail.ru

Аннотация. В современных условиях эксплуатации дорожных покрытий наблюдается рост требований к их долговечности и надежности. Резкое изменение климата, интенсивное движение транспорта движение и воздействие агрессивной среды требуют улучшения состава асфальтобетонных смесей. ГОСТ 9128-2013 вводит нормативы для полимерасфальтобетонных смесей, учитывающих такие физико-механические характеристики, как светостойкость и усталостная прочность, с применением полимерно-битумных связующих (ПБК) на основе блок-полимеров типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). Использование модификаторов, в том числе полимеров и резиновых опилок, признается эффективным средством продления срока службы дорожного полотна и уменьшения дефектов, что подтверждается отечественными и зарубежными исследованиями.

Ключевые слова: модифицированный асфальтобетон, полимерно-битумное связующее, стирол-бутадиен-стирол, резиновый порошок, устойчивость к деформации.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF MODIFIERS FOR ASPHALT CONCRETE MIXTURES

<https://orcid.org/0009-0006-8091-9499>  **Anatoly Smolyaninov**¹, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  **Aru Kozhakhmet**^{1*}, <https://orcid.org/0009-0003-2277-1797>  **Beksultan Chugulyov**²

¹LPP «NTS-Kazakhstan» (Astana, Kazakhstan)

²JSC «KazdorNII» (Astana, Kazakhstan)

*Corresponding Author: arukozhahmet@mail.ru

Abstract. In modern conditions of operation of road surfaces, there is an increase in the requirements for their durability and reliability. A sharp change in climate, intensive traffic and the impact of an aggressive environment require improving the composition of asphalt concrete mixtures. Gost 9128-2013 introduces standards for polymer asphalt concrete mixtures that take into account such physical and mechanical characteristics as light resistance and fatigue strength using polymer-bituminous binders (PBBs) based on styrene-butadiene-styrene (SBS) type block polymers. The use of modifiers, including polymers and rubber crumb, is recognized as an effective means of extending the service life and reducing defects of the road surface, which is confirmed by domestic and Foreign Studies.

Keywords: modified asphalt concrete, polymer-bitumen binder, styrene-butadiene-styrene, rubber powder, deformation resistance.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ДОРОЖНОЕ АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ

Н.И. Паневин¹, А.Б. Пронина¹, О.А. Михайлова^{2*}

¹ООО Автодорис

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*Корреспондент автор: mihaylovalymar@mail.ru

Аннотация. Постепенное старение битумных вяжущих в составе асфальтобетона интенсифицирует возникающие деструктивные процессы, что приводит к преждевременной потере автомобильной дорогой ее эксплуатационных свойств и к необходимости проведения ремонтных мероприятий. Нанесение на асфальтобетонное покрытие дорожных пропиточных составов является эффективной технологией, позволяющей достичь значительного увеличения срока службы асфальтобетона, поэтому подбор эффективных дорожных пропиток для ремонтных и профилактических дорожных работ является актуальной задачей. В статье изучены физико-механические свойства дорожных пропиточных составов, такие как плотность, вязкость, скорость высыхания, адгезия на предмет соответствия их новым требованиям ПНСТ 948 – 2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Пропиточные составы. Общие технические условия». Проведена оценка влияния исследуемых пропиток на такие свойства асфальтобетона марки А16Вн, как водопроницаемость, глубина вдавливания штампа, разрушающая нагрузка по Маршаллу.

Ключевые слова: дорожные пропиточные материалы, асфальтобетон, физико-механические свойства, водопроницаемость асфальтобетона.

Введение

Наиболее популярным материалом для устройства дорожного полотна является асфальтобетон. Он прост в технологии укладки, обеспечивает необходимое сцепление колес транспорта с поверхностью дороги, не требует сложных ремонтных работ. Однако воздействие внешних факторов, таких как многократные нагрузки, воздействие атмосферных осадков, солнечной радиации, перепадов температур приводят к образованию трещин [1]. Опыт эксплуатации автомобильных дорог свидетельствует о том, что трещины и другие дефекты на поверхности асфальтобетонного покрытия возникают уже на протяжении первых лет эксплуатации [2]. Окислительные процессы, происходящие в результате старения битумного вяжущего в составе асфальтобетона приводят к ухудшению эксплуатационных свойств дорожного полотна и к необходимости проведения ремонтных мероприятий. При этом полная замена асфальтобетонного покрытия не является экономическим выгодным решением [3]. На стадии возникновения первичных признаков изнашивания асфальтобетона, а также с целью профилактики трещинообразования и повышения срока службы дорожного полотна целесообразным решением может стать применение дорожных пропиточных материалов (ДПМ).

ДПМ – материалы, предназначенные для нанесения на поверхность асфальтобетонного полотна и выполняющие функции восстановления свойств битумного

вяжущего и/или защиты поверхности покрытия от негативного воздействия внешних факторов и влаги, проникающей внутрь асфальтобетона. Нанесение ДПМ позволяет устранить мелкие дефекты и замедлить такие прогрессирующие разрушения дорожного покрытия, как шелушение, выкрашивание, сетка трещин [4, 5]. Применение ДПМ является эффективной технологией, позволяющей достичь значительного увеличения срока службы асфальтобетона, так как совмещает поверхностную гидроизоляцию асфальтобетона с прониканием наносимого материала внутрь дорожной одежды.

Согласно ПНСТ 948 – 2024 [6], в зависимости от способа обеспечения необходимой вязкости ДПМ подразделяют на ДПМ на водной основе (эмульсионные ДПМ) и ДПМ на основе растворителей. Пропиточные составы на водной основе являются более дешевым и экологичным материалом, но имеют и ряд недостатков. Так, ДПМ на водной основе требуют положительных температур при нанесении и хранении (не менее 10-15°C), срок хранения таких ДПМ ниже срока хранения ДПМ на основе растворителей. Также ДПМ на основе растворителей более глубоко, чем водно-битумные составы, проникают в асфальтобетонное покрытие, заполняя трещины и пустоты и таким образом повышая устойчивость асфальтобетона к воздействию влаги [7].

Применение ДПМ для продления срока службы асфальтобетонного покрытия является достаточно молодым, но интенсивно развивающимся и актуальным направлением в дорожном строительстве. Для оценки целесообразности применения того или иного ДПМ важно провести всесторонние испытания его физико-механических свойств и влияния на асфальтобетон.

Методология

Целью работы являлось определение в лабораторных условиях физико-механических свойств дорожных пропиточных материалов при различных условиях испытания, а также оценка эффективности их влияния на асфальтобетон. На базе испытательной лаборатории был проведен ряд испытаний по различным нормативным показателям для оценки физико-механических свойств дорожных пропиточных материалов и показателей асфальтобетона, обработанного ДПМ. Испытания, проводимые для определения показателей асфальтобетона, обработанного ДПМ, проводились на контрольных лабораторных образцах асфальтобетонной смеси марки А16Вн.

Испытания проводились в соответствии с требованиями ПНСТ 948 – 2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Пропиточные составы. Общие технические условия» [6], действующим с 1 ноября 2024 года.

1. Определение физико-механических показателей

1.1 Определение внешнего вида ДПМ.

Внешний вид оценивали с использованием методики определения однородности по ГОСТ Р 52056 без разогрева ДПМ. Сущность метода заключается в определении однородности ДПМ визуально с помощью стеклянной палочки. Стеклянную палочку погружали в подготовленную пробу ДПМ на 3-4 с, затем извлекали и визуально оценивали характер стекания пропитки с палочки и состояние пленки материала на ее поверхности. ДПМ должен стекать с палочки равномерно и на ее поверхности не должно быть сгустков, комков и крупинок.

1.2 Определение условной вязкости

Условную вязкость определяли в соответствии с ГОСТ Р 58952.6 при помощи вискозиметра (представленном на рисунке 1) с диаметром отверстия 5 мм при температуре (22 ± 3) °С. Пробу ДПМ переливали в рабочий цилиндр до уровня отметки на шаровом клапане, предварительно убедившись, что отверстие цилиндра закрыто шаровым клапаном. Поднимали и фиксировали шаровой клапан и после того, как сливаемая проба пропиточного состава через отверстие рабочего цилиндра вискозиметра в мерном стеклянном цилиндре достигала уровня (25 ± 1) см³, начинали отсчет времени при помощи

секундомера. Окончанием отсчета времени являлась степень заполнения мерного стеклянного цилиндра пробой ДПМ до уровня $(75 \pm 1) \text{ см}^3$. Полученный интервал времени, в период заполнения мерного стеклянного цилиндра объемом 50 см^3 в секундах, округляли до целого числа. За результат испытаний принимали среднее арифметическое результатов трех измерений времени истечения.



Рисунок 1 – Определение условной вязкости при помощи вискозиметра Редвуда ВУБ-БМ

1.3 Определение массовой доли нелетучих веществ.

Для определения содержания нелетучих веществ в пропиточном составе использовали методику, предусмотренную ГОСТ 31939, сущность которой заключается в высушивании материала на чашке Петри при $135 \text{ }^\circ\text{C}$ в течении 60 минут и последующем взвешивании.

1.4 Определение плотности.

Испытание проводилось при помощи металлического пикнометра объемом 50 см^3 , в соответствии с ГОСТ 31992.1 при температуре $(22 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$.

1.5 Определение адгезии ДПМ.

Определение адгезии проводили в соответствии с приложением В ПНСТ 948 – 2024 [6].

Испытание проводили на граните. Были выбраны зерна гранита серого и красного цветов, как показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Каменный материал, подготовленный для определения адгезии ДПМ

Перед началом испытания пробу минерального материала промывали и высушивали.

Каждое зерно обвязывали тонкой проволокой. Температура ДПМ во время испытания находилась в пределах (21 ± 4) °С. Зерна щебня поочередно опускали два-три раза в емкость с ДПМ, затем подвешивали на штативе и оставляли на (24 ± 2) часа. Затем кипятили в течение 30 минут в дистиллированной воде. Результат оценивали визуально

1.6 Определение времени высыхания до степени 3.

Время высыхания ДПМ до степени 3 проводили в соответствии с ГОСТ 19007. Для определения данного показателя были изготовлены контрольные лабораторные образцы из смеси А16Вн по ГОСТ Р 58406.2 с содержанием воздушных пустот $(4,0 \pm 0,5)$ %. Расход ДПМ, наносимого на верхний торец образца соответствовал $0,6 \text{ кг/м}^2$. После нанесения ДПМ без минерального наполнителя, когда он впитался в поверхность образца, наносили песок дробленый. Через 30 минут не прилипший материал убрали с образцов мягкой кистью. Время высыхания определяли, начиная со степени 2 до степени 3.

2 Определение показателей асфальтобетона, обработанных ДПМ

2.1 Определение водопроницаемости

Водопроницаемость определяли в соответствии с приложением Д ПНСТ 948 – 2024 [6] на контрольных лабораторных образцах из смеси А16Вн с содержанием воздушных пустот $(4,0 \pm 0,5)$ %. При выполнении испытаний применяли лабораторный пермеаметр, представленный на рисунке 3.



Рисунок 3 – Лабораторный пермеаметр

Перед испытанием измерили высоту и диаметр образца. Чтобы убедиться в водопроникновенности образца сначала его испытывали без нанесения ДПМ.

Для обеспечения герметизации обрабатывали боковую грань образца сверху на ширину 25 мм пластилином. Затем образец помещали в силиконовую манжету пермеаметра на глубину 20 мм. Емкость для сбора воды предварительно взвешивали. Пермеаметр вместе с образцом помещали в емкость с водой на 10 минут для предварительного водонасыщения. Далее устройство с образцом помещали на перфорированную подставку в емкость для сбора прошедшей жидкости. Сверху в трубу подавали воду. Образовавшийся столб воды благодаря переливной трубке был на уровне 300 мм. Измерение проводили в течение 10 минут, измеряя температуру воды. После завершения измерения взвешивали емкость с прошедшей через образец водой. Повторяли испытание на том же, пропустившем воду образце. Затем испытанный образец высушивали при комнатной температуре в течение 24 часов и обрабатывали его верхний торец ДПМ с нормой расхода, рекомендованной

производителем (0,6 кг/м²). После высыхания образца испытание по определению водопроницаемости повторялось в соответствии с приложением Д.

При обработке результатов сначала рассчитывали поток воды по формуле 1:

$$Q = \frac{(m_2 - m_1)}{t \cdot \rho}, \quad (1)$$

где: m_1 – масса емкости для сбора воды с перфорированной подставкой до измерений, г;

m_2 – масса емкости для сбора воды с перфорированной подставкой и прошедшей через образец водой после измерений, г;

t – время измерений, с;

ρ – плотность воды, зависящая от ее температуры, г/см³.

Далее рассчитывали показатель водопроницаемости по формуле 2:

$$K_B = \frac{4 \cdot Q \cdot h}{(\pi \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot h) \cdot 32,5}, \quad (2)$$

Где: Q – поток воды, прошедшей через образец, см³/с;

h – высота образца, см;

d – диаметр образца, см;

$(\pi \cdot d \cdot h)$ – площадь боковой поверхности образца, см²;

32,5 – фактическая высота столба воды, см.

2.2 Определение глубины вдавливания штампа

Глубину вдавливания штампа определяли в соответствии с ГОСТ Р 54400 с некоторыми дополнениями. Глубину вдавливания штампа выполняли на контрольных лабораторных образцах из смеси А16Вн с содержанием воздушных пустот (4,0 ± 0,5) %. Испытание проводилось на необработанных и обработанных ДПМ образцах. У образцов обрабатывали верхний торец с рассчитанной на его площадь поверхности верхнего торца нормой расхода ДПМ, рекомендованной производителем – 0,6 кг/м². После нанесения ДПМ без минерального наполнителя, когда он впитался в поверхность образца, наносили песок дробленый. Не прилипший материал затем убирали мягкой кистью. Обработанные ДПМ контрольные лабораторные образцы испытывали не ранее чем через 24 ч и не позднее 48 ч после их обработки. При определении глубины вдавливания штампа образец помещали в цилиндрическую часть формы для уплотнения асфальтобетонной смеси с внутренним диаметром (101,6 ± 0,2) мм по ГОСТ Р 58406.9–2019 (подраздел 4.1). Образец погружали вместе с формой в водяную баню прибора, где его выдерживали при температуре (60 ± 1) °С в течение (60 ± 5) мин. Показания снимали спустя (60 ± 1) минут с момента приложения нагрузки. За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов измерений двух образцов не обработанных и обработанных.

2.3 Определение разрушающей нагрузки по Маршаллу

Разрушающую нагрузку по Маршаллу определяли по ГОСТ Р 58406.2 и по ГОСТ Р 58406.8. Определение разрушающей нагрузки выполняли на контрольных лабораторных образцах из смеси А16Вн с содержанием воздушных пустот (4,0 ± 0,5) %. Испытание проводили до и после обработки образцов. Обрабатывались все стороны образцов с нормой расхода ДПМ, рекомендованной производителем – 0,6 кг/м². После нанесения ДПМ без минерального наполнителя, когда он впитался в поверхность образца, наносили песок дробленый. Не прилипший материал затем убирали мягкой кистью. Обработанные ДПМ контрольные лабораторные образцы испытывали не ранее чем через 24 ч и не позднее 48 ч после их обработки.

Подготовленные образцы ставили в термостат и термостатировали при температуре (60 ± 1) °С в течение (35 ± 5) минут. Затем устанавливали его в обжимное устройство и нагружали со скоростью (50,0 ± 1,0) мм/мин до достижения максимальной нагрузки.

Также при помощи прибора ППК-МАДИ-ВНИИБД, согласно ГОСТ 33078-2014 были проведены испытания коэффициента сцепления колеса с асфальтобетонным покрытием до и после нанесения исследуемых пропиток на территории учебного полигона

БГТУ им. В. Г. Шухова. Принцип измерения коэффициента сцепления основан на имитации торможения колеса с покрышкой без протектора на чистом увлажненном покрытии с полной блокировкой.

Для замера коэффициентов сцепления были выбраны участки полигона с наиболее близкими характеристиками поверхности. Контрольные участки были обработаны пропитками таким образом, чтобы обеспечить возможность замера коэффициента сцепления прибором ППК-МАДИ-ВНИИБД. Площадь каждого контрольного участка 1м². После обработки участки выдержались до полного высыхания пропитки.

Результаты и Обсуждение

Результаты испытаний физико-механические свойства ДПМ представлены в таблице 1 и 2. Показатели асфальтобетона, обработанного исследованными пропитками представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Физико-механические свойства пропиточного состава №1

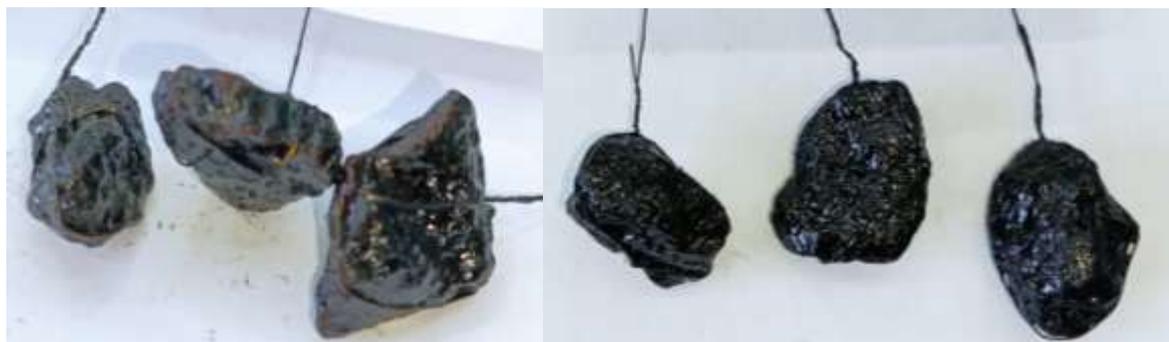
Наименование показателя	Требования ПНСТ 948 – 2024	Значения показателя для ДПМ	Среднее значение показателя
Внешний вид	Однородная вязкая жидкость	Однородная вязкая жидкость	Однородная вязкая жидкость
Условная вязкость по вискозиметру с диаметром отверстия 5 мм при 22 °С, с	Не более 40	8; 9; 8	8
Массовая доля нелетучих веществ, %	От 50,0 до 95,0	59,2; 59,2	59,2
Плотность, г/см ³	Не нормируется	0,96; 0,96	0,96
Адгезия, %	Не менее 90	Серые зерна: 100 Красные зерна: 99	99
Время высыхания до степени 3, ч	Не более 3	0,5	0,5

Таблица 2 – Физико-механические свойства пропиточного состава №2

Наименование показателя	Требования ПНСТ 948 – 2024	Значения показателя	Среднее значение показателя
Внешний вид	Однородная вязкая жидкость	Однородная вязкая жидкость	Однородная вязкая жидкость

Условная вязкость по вискозиметру с диаметром отверстия 5 мм при 22 °С, с,	Не более 200	101; 96; 107; 99; 141	99
Массовая доля нелетучих веществ, %	От 50,0 до 95,0	76,9; 76,3	76,6
Плотность, г/см ³	1,150–1,750	1,650; 1,640	1,650
Адгезия, %, не менее	90	Серые зерна: 100 Красные зерна: 100	100
Время высыхания до степени 3, ч, не более:	3	1	1

На рисунках 4 и 5 представлен внешний вид каменного материала, обработанного ДПМ после кипячения при определении показателя адгезии.



А

Б

Рисунок 4 – Пленка пропиточного состава №1 после кипячения: А - на красном граните и Б - на сером граните.



Рисунок 5 – Пленка пропиточного состава №2 на сером и красном граните после кипячения

На рисунке 4 видно, что после кипячения каменного материала на зернах красного гранита пленка пропиточного состава №1 частично отделена от острых углов и ребер покрытия. Серые зерна покрыты полностью. Пропитка пропиточного состава №2

полностью покрывает зерна каменного материала независимо от его цвета (рисунок 5). Таким образом, результаты испытаний свидетельствуют, что исследуемые пропитки обладают высокой адгезией к каменному материалу, что положительно скажется на сцеплении наносимой пропитки с дорожным полотном.

Таблица 3 – Показатели асфальтобетона, обработанного исследуемыми ДПМ

Наименование показателя	Требования ПНСТ 948 – 2024	Фактические показатели при испытаниях пропиточного состава №1		Фактические показатели при испытаниях Силкоут пропиточного состава №2	
		Значение показателя для контрольных образцов до обработки ДПМ	Значение показателя для образцов после обработки ДПМ	Значение показателя для контрольных образцов до обработки ДПМ	Значение показателя для образцов после обработки ДПМ
Водопроницаемость, см/с	Не более $2,0 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Глубина вдавливания штампа при 60 °С, мм,	Не более 2,0	0,6	1,1	0,6	1,2
Разрушающая нагрузка по Маршаллу для асфальтобетона верхних слоев покрытия соответствующих типов по ГОСТ Р 58406.2	Не ниже 5340	9094	9095	9351	9363

Показатель сцепления колеса с дорогой является очень важным для обеспечения безопасности дорожного движения. При подборе дорожной пропитки, важно, чтобы после ее нанесения, коэффициент сцепления оставался в пределах установленных нормативов. На рисунке 6 отражен процесс увлажнения и проведения испытания коэффициента сцепления на асфальтовом покрытии учебного полигона БГТУ им Шухова. Результаты испытания, проведенного на участке, не обработанном пропиткой и участках, обработанных пропитками, представлены в таблице 4.



Рисунок 6 – Увлажнение дорожного покрытия и проведение замера коэффициента сцепления

Таблица 4 – Показатель коэффициента сцепления колеса на испытуемых участках

Участок	Средний коэффициент сцепления
Контрольный участок (без пропитки)	0,35
Участок, обработанный пропиткой Силкоут Р-50	0,33
Участок, обработанный пропиткой Силкоут РН-75	0,37
Требования ОДН 218.0.006-2002 и ГОСТ Р 50597-2017	Не менее 0,3

Заключение

1. Согласно проведенным испытаниям, определено, что фактические физико-механические свойства дорожных пропиточных материалов №1 и №2, а также показатели обработанного данными пропиточными составами асфальтобетона соответствуют требованиям проекта ПНСТ 948 – 2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Пропиточные составы. Общие технические условия» и могут быть использованы в качестве дорожных пропиточных материалов для нанесения на асфальтобетонное покрытие.

2. Анализ результатов, полученных при испытании асфальтобетона, обработанного исследуемыми пропитками, позволяет утверждать, что применение исследуемых дорожных пропиточных материалов №1 и №2 снижает водопроницаемость асфальтобетона более, чем в 3,5 раза, что говорит о герметизирующих свойствах данных пропиток. Таким образом применение данных пропиток позволит защитить дорожное полотно от

разрушающего воздействия атмосферных осадков и продлит срок службы дорожного покрытия.

3. При нанесении исследуемых пропиточных составов на поверхность асфальтобетона глубина вдавливания хоть и несколько снижается, но остается в пределах нормативных требований.

4. Полученные показатели разрушающей нагрузки по Маршаллу позволяют утверждать, что нанесение пропитки не снижает прочностные характеристики асфальтобетона.

5. Исследование изменения коэффициента сцепления на дорожном покрытии после нанесения исследуемых пропиток показало, что применение пропиточного состава №1 приводит к незначительному снижению коэффициента сцепления (0,33). При этом данный параметр соответствует нормативным требованиям по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Применение пропиточного состава №2 приводит к некоторому увеличению коэффициента сцепления (0,37) по сравнению с исходным покрытием, что является преимуществом данной пропитки.

Список литературы

1. Ярцев, В. П., Зимнухов, А. Н. Зеленев, Р. С. Влияние агрессивных воздействий на прочность асфальтобетона после пропитки битумно-полимерной мастикой // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 15–16 июня 2017 года.

2. Калгин, Ю. И., Строкин, Е. Б., Тюков, А. С. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий: Учебное пособие / Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет ЭБС АСВ, 2014. – 226 с.

3. Лукина, К. А., Новик, А. Н., Полудницына П. Н., Новик А. Н. Дорожные пропиточные материалы - свойства и экономичность // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – С. 266-268.

4. Высоцкая, М. А., Власова, Е. А., Кузнецов Д. А. Обзор состояния сегмента пропиточных материалов для покрытий автомобильных дорог // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 8. – С. 6-12.

5. Высоцкая, М. А., Кузнецов, Д. А., Курлыкина, А. В., Власова Е. А. Воздействие пропиточных материалов с различной основой на асфальтобетон // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С. 8-13

6. ПНСТ 948 – 2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Пропиточные составы. Общие технические условия»: предварительный национальный стандарт РФ/разработан ООО «Автодорис»: принят приказом Росстандарта от 19.09.2024 г. № 48-пнст: дата введения 01.11.2024 г. – Текст: электронный // ИСС «Техэксперт». – Режим доступа: локальный, по договору. – Обновление ежедневно.

7. Рыбалко, В. П., Писаренко, Е. И., Корчмарек А. С. Опыт применения защитных и восстанавливающих инновационных материалов для ремонта и продления эксплуатационного ресурса дорожных и аэродромных асфальтобетонных покрытий // Ассоциация исследователей асфальтобетона: Ежегодная научная сессия, Москва, 29 января 2019 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр", 2019. – С. 127-136.

Сведения об авторах:

Паневин Николай Иванович – техника ғылымдарының кандидаты, «Автодорис» ЖШҚ директоры.

Мекен-жайы: 394029, Воронеж облысы, Г. о. Воронеж қаласы, Воронеж қаласы, Стратосфера батырлары көшесі, 16А үй.

e-mail: panevinn@mail.ru

Пронина Анастасия Борисовна – «Автодорис» ЖШҚ жетекші инженері,

Мекен-жайы: 394029, Воронеж облысы, Г. о. Воронеж қаласы, Воронеж қаласы, Стратосфера батырлары көшесі, 16А үй.

e-mail, ray778@mail.ru

Михайлова Ольга Анатольевна – автомобиль және теміржол кафедрасының аспиранты. А. М. Гридчина, Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. В. Г. Шухова.

Мекен-жайы: Ресей, 308012, Белгород, Костюков көшесі, 46, Белгород мемлекеттік технологиялық университеті. В. Г. Шухова.

e-mail: mihaylovalymar@mail.ru

Паневин Николай Иванович – кандидат технических наук, директор ООО «Автодорис».

Адрес: 394029, Воронежская область, г. о. город Воронеж, г. Воронеж, ул. Героев Стратосферы, д. 16А.

e-mail: panevinn@mail.ru

Пронина Анастасия Борисовна – ведущий инженер ООО Автодорис,

Адрес: 394029, Воронежская область, г. о. город Воронеж, г. Воронеж, ул. Героев Стратосферы, д. 16А.

e-mail, ray778@mail.ru

Михайлова Ольга Анатольевна – аспирант Кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

e-mail: mihaylovalymar@mail.ru

Panevin Nikolay Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Director of Avtodoris LLC.

Address: 16A Geroyev Stratosphera str., Voronezh, Voronezh, 394029, Voronezh Region.

e-mail: panevinn@mail.ru

Pronina Anastasia Borisovna – Senior Engineer of Avtodoris LLC,

Address: 16A Geroyev Stratosphera str., Voronezh, Voronezh, 394029, Voronezh Region.

e-mail, ray778@mail.ru

Mikhailova Olga Anatolyevna – postgraduate student of the Department of Automobile and Railways named after A.M. Gridchin, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. e-mail: mihaylovalymar@mail.ru

Вклад авторов:

Н.И. Паневин – концепция, методология, получение финансирования;

А.Б. Пронина – ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование;

О.А. Михайлова – анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЖОЛ СІҢДІРУ ҚҰРАМДАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ЖОЛ АСФАЛЬТБЕТОН ЖАБЫНЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Н.И. Паневин¹, А.Б. Пронина¹, О.А. Михайлова^{2*}

¹«Автодорис» ЖШҚ

²В.Г. Шухова атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті

*Корреспондент автор: mihaylovalymar@mail.ru

Аңдатпа. Асфальтобетон құрамындағы битумдық байланыстырғыштардың біртіндеп ескіруі деструктивтік үдерістерді күшейтеді, бұл автожолдың пайдалану қасиеттерінің мерзімінен бұрын нашарлауына және жөндеу жұмыстарын жүргізудің қажеттілігіне әкеледі. Асфальтобетон жабындысына жолдық сіңіргіш құрамдарды жағу – асфальтобетонның қызмет ету мерзімін едәуір ұзартуға мүмкіндік беретін тиімді технология болып табылады. Сондықтан жөндеу және профилактикалық жол жұмыстарына тиімді сіңіргіш құрамдарды іріктеу – өзекті мәселе. Мақалада ПНСТ 948–2024 «Жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдары. Сіңіргіш құрамдар. Жалпы техникалық талаптар» жаңа стандартына сәйкестігін бағалау үшін жолдық сіңіргіш құрамдардың тығыздық, тұтқырлық, кебу жылдамдығы, адгезия сияқты физика-механикалық қасиеттері зерттелген. Сондай-ақ, А16Вн маркалы асфальтобетонның су өткізгіштігі, штамптың бату тереңдігі және Маршалл әдісі бойынша бұзушы жүктеме сияқты қасиеттеріне сіңіргіш құрамдардың әсері бағаланған.

Түйінді сөздер: жолдық сіңіргіш материалдар, асфальтобетон, физика-механикалық қасиеттер, асфальтобетонның су өткізгіштігі.

STUDY OF PROPERTIES OF ROAD IMPREGNATION COMPOSITIONS AND THEIR EFFECT ON ROAD ASPHALT CONCRETE PAVEMENT

N.I. Panevin¹, A.B. Pronina¹, O.A. Mikhailova²

¹LLC Avtodoris

²Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova
panevin@mail.ru, ray778@mail.ru, mihaylovalymar@mail.ru,

Abstract. Gradual aging of bituminous binders in asphalt concrete intensifies the emerging destructive processes, which leads to the premature loss of highway operational properties and to the need for repair measures. Application of road impregnation compositions to asphalt concrete pavement is an effective technology that allows to achieve a significant increase in the service life of asphalt concrete, so the selection of effective road impregnations for repair and preventive road works is an urgent task. The article studies the physical and chemical properties of road impregnation compositions, such as density, viscosity, drying rate, adhesion to meet the new requirements of PNST 948-2024 «Public roads. Impregnation compositions. General technical conditions». The influence of the investigated impregnations on such properties of A16Vn asphalt concrete as water permeability, depth of die indentation, and Marshall breaking load has been evaluated.

Keywords: road impregnation materials, asphalt concrete, physical and chemical properties, water permeability of asphalt concrete.





УДК 691.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Габит Арипбеков^{1*}

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

*Корреспондент автор: Aripbekov2021@gmail.com

Аннотация: В данной работе рассматриваются процессы старения битумных и полимерно-битумных вяжущих под воздействием климатических и эксплуатационных факторов, характерных для условий Казахстана. Особое внимание уделяется методам лабораторного моделирования кратковременного и долговременного старения, включая RTFOT, PAV, УСК, УСД1 и УСД2. Приводится сравнительный анализ показателей старения, полученных различными методами. Результаты показывают, что полимерная модификация существенно повышает стойкость вяжущих к старению, улучшает их эластичность, адгезию и морозостойкость. Сделаны выводы о возможности использования данных методов для прогнозирования долговечности дорожных покрытий и оптимизации состава вяжущих материалов.

Ключевые слова: битумные вяжущие, полимерная модификация, старение материалов, лабораторное моделирование, долговечность покрытий, климатические воздействия, реологические свойства.

Введение

Битумные и полимербитумные вяжущие подвержены интенсивному окислению под воздействием различных климатических условий и эксплуатационных факторов. В условиях изменяющегося климата Казахстана, включая влияние ультрафиолетового излучения, температурных колебаний и влажности, окислительные процессы в полимербитумах существенно сказываются на долговечности дорожных покрытий, их устойчивости к растрескиванию и другим видам повреждений. Со временем эти вяжущие теряют первоначальные свойства, а скорость их окисления увеличивается. В настоящее время степень окисления и связанные с ним изменения не учитываются. Определение скорости окисления, а также влияния различных полимерных компонентов на этот процесс позволит более точно прогнозировать срок службы дорожных покрытий.

Строительные материалы, содержащие битумы, обладают широкой сферой применения. Однако их основные недостатки схожи и связаны с ограниченным диапазоном пластичности битумного вяжущего, а также его высокой чувствительностью к атмосферному старению. Повысить эксплуатационные характеристики битумов можно за счет введения полимерных модификаторов, которые сегодня активно применяются при производстве кровельных покрытий и все чаще используются в дорожном строительстве – двух ключевых направлениях применения битумных материалов [1].

Модификация битума полимерными добавками позволяет добиться значительного улучшения свойств вяжущего материала даже при небольшом содержании модификатора, что делает процесс экономически обоснованным. Применение полимерных добавок существенно улучшает ключевые показатели полимерно-битумных вяжущих (ПБВ),

включая повышение температуры размягчения, снижение температуры хрупкости и улучшение адгезии. Кроме того, модификация полимерами придает вяжущим дополнительную эластичность, что способствует их способности выдерживать значительные деформации без разрушения. Полимерно-битумные вяжущие обладают не только повышенной устойчивостью к механическим и температурным воздействиям, но и улучшенной стойкостью к процессам старения. Введение полимеров в битумную матрицу позволяет увеличить эластичность, повысить сцепление с минеральными материалами и улучшить морозостойкость, что значительно продлевает срок службы дорожных покрытий [2].

Для моделирования старения битума применялись две группы методик [5]:

1. Кратковременное старение (УСК) - Образцы подвергались старению в сушильном шкафу при атмосферном давлении при температуре 150 °С в течение 50 минут. Данный режим имитирует процессы, происходящие при приготовлении асфальтобетонной смеси.

2. Долговременное старение (УСД). Здесь используются два варианта:

- УСД1: Старение производится в сушильном шкафу при 100 °С в течение 40 часов.

- УСД2: Образцы стареют в специальном сосуде (PAV) при давлении 2,1 МПа и температуре 100 °С в течение 8 часов.

Для сравнения с вышеуказанными методиками проводились испытания по классическому методу RTFOT, который моделирует процессы старения при смешивании битума с минеральными материалами [5].

Существуют различные методики лабораторного и компьютерного моделирования процессов старения:

- Методы ускоренного старения (RTFOT, PAV – Pressure Aging Vessel), позволяющие оценить устойчивость ПБВ к термоокислительным процессам [3].

- Реологические методы исследования, которые применяются для оценки изменений вязкости и модуля упругости при старении [2].

- Математическое моделирование – позволяет прогнозировать изменения физических и химических свойств ПБВ в процессе старения [4].

Таблица 1 – Методы моделирования процессов старения

Метод	Описание	Применение
RTFOT	Нагрев битума в тонком слое при циркуляции воздуха	Оценка краткосрочного старения
PAV	Воздействие повышенного давления и температуры	Моделирование долгосрочного старения
DSR	Динамический сдвиговый реометр	Оценки вязкоупругих свойств при средних и высоких температурах
Компьютерное моделирование	Анализ поведения ПБВ под воздействием различных факторов	Долговременный прогноз изменений свойств

В качестве эталонного метода применяется классический RTFOT, позволяющий моделировать старение при смешивании битума с минеральными материалами [5]. После проведения процедур старения измерялись реологические параметры. Основные показатели: Сдвиговая устойчивость ($G/\sin\delta$) – для оценки кратковременного старения. Усталостная устойчивость ($G \cdot \sin\delta$) – для долговременного старения. Критическая температура – определяемая как температура, при которой значение $G^*/\sin\delta$ (или $G^* \cdot \sin\delta$) достигает заданного порога [5].

Для вяжущих типа ПБВ и БНД получены следующие результаты при испытаниях, проведённых по методикам кратковременного старения (УСК) и классическому методу RTFOT [5].

Таблица 2 – Сравнение кратковременного старения для ПБВ и БНД

Тип вяжущего	Температура, °С	$G^*/\sin\delta$ (УСК), кПа	$G^*/\sin\delta$ (RTFOT), кПа
ПБВ 60	76	2,51	2,43
ПБВ 60	82	1,52	1,45
БНД	64	3,69	3,51
БНД	70	1,75	1,64

Из таблицы видно, что для обоих типов вяжущих разница между значениями, полученными по методике УСК и по RTFOT, невелика и находится в пределах нормативных требований. Это подтверждает, что лабораторное моделирование кратковременного старения корректно отражает изменения свойств как для ПБВ, так и для БНД.

Для долговременного старения проводились испытания по методике УСД2 и методу PAV. Ниже приведён пример сравнительной таблицы для долговременного старения ПБВ [5]:

Таблица 3 – Сравнение долговременного старения для ПБВ

Тип вяжущего	Температура, °С	$G^*\cdot\sin\delta$ (УСД2), кПа	$G^*\cdot\sin\delta$ (PAV), кПа
ПБВ 60	19	5836	5295
ПБВ 60	22	4367	3797

Данные показывают, что показатели долговременного старения для ПБВ, полученные по методике УСД2, почти совпадают с результатами по методу PAV, что подтверждает, что процессы старения в лаборатории воспроизводятся правильно [5].

Механизм старения битум-полимерных систем отличается большей сложностью по сравнению с битумными, так как климатические воздействия оказывают различное влияние на битумный и полимерный компоненты. Химические изменения в битумах в процессе старения, затрагивающие их коллоидную структуру, происходят под влиянием множества факторов: температуры, ультрафиолетового излучения, циклических температурных деформаций в присутствии кислорода, озона и воды. Вода не только вымывает водорастворимые соединения из битума, но и смывает образующуюся окисную пленку, облегчая тем самым проникновение кислорода в его структуру. Процесс старения полимеров включает несколько типов разрушения: термическую деструкцию (разрыв полимерных цепей), фотодеструкцию под воздействием ультрафиолетового излучения, механическое разрушение и окисление. На заводе «Изофлекс» применялся метод длительного старения при температуре 80 °С с проведением оценки свойств вяжущего через 7, 14 и 28 дней. Этот подход наиболее точно имитирует реальные условия эксплуатации и использовался в рамках данного исследования [1].

Наибольшую устойчивость к старению демонстрирует битум, модифицированный полиуретановыми добавками с насыщенной основной цепью. В то же время чистый битум оказался наименее стойким, а битумные вяжущие с модификаторами, содержащими кратные связи, показали среднюю степень старения. Сделаны следующие выводы [1]:

- Температурное воздействие является наиболее значимым фактором, влияющим на процессы старения.

- Долговечность битумно-полимерных вяжущих определяется формированием устойчивых структур «битум–полимер» и зависит от совместимости компонентов, а также химической природы как полимера, так и битума.

- Установлено, что полимерная модификация повышает стойкость к старению: например, скорость увеличения температуры размягчения со временем при модификации эластомерами снижается на 50%, а при использовании уретанов – на 70%.

- Насыщенность основной цепи полимерного модификатора оказывает положительное влияние на устойчивость битумно-полимерных вяжущих к старению.

Заключение

Применение современных лабораторных методик ускоренного старения (таких как RTFOT, PAV, а также методики УСК, УСД1 и УСД2) позволяет достаточно точно моделировать процессы окисления и изменения свойств как битумных, так и полимерно-битумных вяжущих. Исследования показали, что разница между результатами, полученными традиционными методами и альтернативными подходами, невелика и находится в пределах нормативных требований. Это свидетельствует о том, что лабораторное моделирование кратковременного и долговременного старения даёт адекватное представление о реальных изменениях в материале.

Особое внимание уделено влиянию полимерных добавок на устойчивость вяжущих к старению. Результаты подтверждают, что полимерная модификация существенно улучшает эксплуатационные характеристики: повышается эластичность, снижается скорость повышения температуры размягчения и улучшается адгезия с минеральными компонентами. Это особенно важно для условий эксплуатации в регионах с суровыми климатическими условиями, как в Казахстане, где температурные колебания и воздействие ультрафиолета значительно ускоряют процессы старения.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод, что методы моделирования старения битумных и полимерно-битумных вяжущих являются надёжным инструментом для прогнозирования долговечности дорожных покрытий и могут быть использованы для оптимизации состава материалов с целью повышения их устойчивости к неблагоприятным климатическим и эксплуатационным воздействиям.

Список литературы

1. Аюпов Д. А. и др. Старение битум-полимерных вяжущих //Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 15. – С. 126-129.
2. Дошлов О. И., Спешиллов Е. Г. Полимерно-битумное вяжущее–высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения //iPolytech Journal. – 2013. – №. 6 (77). – С. 140-144
3. Киндеев О. Н., Высоцкая М. А., Шеховцова С. Ю. Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2016. – №. 1. – С. 26-30
4. Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон //М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ. – 2008. – Т. 117
5. Симчук Е. Н., Харпаев А. В., Рожков И. М. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях //Дороги и мосты. – 2022. – №. 2. – С. 48

Сведения об авторах:

Габит Арипбеков – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің магистранты, Астана, Қазақстан, Aripbekov2021@gmail.com

Габит Арипбеков – Магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, Aripbekov2021@gmail.com

Gabit Aripbekov – Master's student at L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Aripbekov2021@gmail.com

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Габит Арипбеков – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

ПОЛИМЕР-БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДЫҢ ЕСКІРУІН МОДЕЛЬДЕУ

Габит Арипбеков^{1*}

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: Aripbekov2021@gmail.com

Аннотация: Бұл жұмыста Қазақстан жағдайларына тән климаттық және пайдалану факторларының әсерінен битумды және полимерлі-битумды байлағыштардың қартаюу процестері қарастырылады. Қысқа және ұзақ мерзімді қартаюуды зерттеудің зертханалық модельдеу әдістеріне (RTFOT, PAV, ҚМК, ҰМК1, ҰМК2) ерекше назар аударылды. Өртүрлі әдістер бойынша алынған қартаюу көрсеткіштерінің салыстырмалы талдауы ұсынылады. Зерттеу нәтижелері полимерлік модификацияның байлағыштардың қартаюуға төзімділігін, серпімділігін, адгезиясын және аязға төзімділігін едәуір арттыратынын көрсетті. Бұл әдістерді жол жамылғыларының қызмет ету мерзімін болжау және байлағыш материалдардың құрамын онтайландыру үшін қолдануға болатыны туралы қорытындылар жасалды.

Түйінді сөздер: битумды байланыстырушы, полимерлік модификация, материалдардың ескіруі, зертханалық модельдеу, жабынның ұзақ қызмет етуі, климаттық әсерлер, реологиялық қасиеттер

MODELING OF POLYMER-BITUMEN BINDERS AGING

Gabit Aripbekov^{1*}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: Aripbekov2021@gmail.com

Abstract: This study explores the aging processes of bituminous and polymer-modified bituminous binders under climatic and operational conditions typical for Kazakhstan. Special attention is given to laboratory methods for modeling short- and long-term aging, including RTFOT, PAV, USC, USD1, and USD2. A comparative analysis of aging indicators obtained through various methods is provided. The results demonstrate that polymer modification significantly enhances the aging resistance of binders, improves elasticity, adhesion, and frost resistance. The findings support the use of these modeling techniques for predicting pavement durability and optimizing binder compositions to withstand harsh environmental and operational conditions.

Keywords: bituminous binders, polymer modification, material aging, laboratory modeling, pavement durability, climatic effects, rheological properties



Copyright: © 2024 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/>).



УДК 691-4

УЛУЧШЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

Шангерей Ұран Арысұлы^{1*}

¹Магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана,
Қазақстан

*Корреспондент автор: shangerey182@gmail.com

Аннотация: Современные дорожные покрытия требуют повышения эксплуатационных характеристик, особенно в условиях агрессивных климатических и механических воздействий. Одной из ключевых проблем является недостаточная адгезия битумных вяжущих к минеральным заполнителям, что приводит к разрушению покрытия. В данном исследовании рассматриваются методы улучшения адгезионных свойств битума с использованием модифицирующих добавок.

Цель работы – изучение влияния различных адгезионно-активных и полимерных добавок на свойства битумных вяжущих и разработка оптимизированного состава, обеспечивающего высокую устойчивость дорожного покрытия.

Исследование включает лабораторные испытания битумных композиций, анализ их физико-механических характеристик и сравнительный анализ адгезионных свойств. Полученные результаты показали, что применение определенных типов модификаторов значительно повышает сцепление битума с минеральным материалом, улучшает его водостойкость и термическую стабильность.

Предложенные решения способствуют увеличению долговечности дорожных покрытий, сокращению затрат на ремонт и повышению безопасности дорожного движения. Разработанные составы могут быть рекомендованы для широкого применения в дорожном строительстве.

Ключевые слова: битумные вяжущие, адгезия, модифицирующие добавки, дорожные покрытия, водостойкость, полимерные добавки, устойчивость.

Введение

Долговечность и качество дорожных покрытий во многом зависят от свойств битумных вяжущих, среди которых адгезия к минеральным заполнителям играет ключевую роль. Недостаточная адгезия приводит к преждевременному разрушению покрытия, образованию трещин, выкрашиванию и снижению водостойкости. Это в свою очередь ускоряет процессы деградации асфальтобетонных смесей, увеличивает затраты на ремонт и снижает безопасность дорожного движения. Особенно актуальна данная проблема в регионах с резкими перепадами температур и высокой влажностью, где процессы старения битума протекают интенсивнее.

Современные исследования в области дорожного строительства предлагают различные подходы к улучшению адгезионных свойств битума. В частности, изучается применение модифицирующих добавок, включая полимерные, поверхностно-активные вещества и наноматериалы, которые способны повысить сцепление битума с минеральным материалом. Однако, несмотря на значительный прогресс в данной области, остается

нерешенным вопросом о подборе оптимального состава модификаторов, обеспечивающего долгосрочную стабильность и устойчивость покрытия в реальных эксплуатационных условиях.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к определению наиболее эффективных методов улучшения адгезионных характеристик битума. Фундаментальные труды в данной области рассматривают механизмы взаимодействия битума с минеральными поверхностями и влияние различных факторов на адгезию, тогда как новейшие исследования сосредоточены на изучении перспективных добавок и их влияния на эксплуатационные характеристики асфальтобетонных смесей. Однако пробелы в научных данных, связанные с длительной устойчивостью модифицированных битумов в реальных условиях, требуют дальнейших исследований.

Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимостью поиска и разработки эффективных методов модификации битумных вяжущих, обеспечивающих повышение их адгезионных свойств. Это позволит увеличить срок службы дорожных покрытий, снизить затраты на их содержание и повысить их эксплуатационную надежность.

Для проведения данного исследования были выбраны битумные вяжущие различных марок (БНД 60/90 и БНД 90/130), которые использовались в качестве основного компонента для получения асфальтобетонных смесей. Модификация битума проводилась с добавлением различных типов модификаторов, таких как полимерные добавки (например, стирол-бутадиен-стирол — СБС), поверхностно-активные вещества (ПАВ), а также аминовые соединения. Все добавки использовались в различных концентрациях, что позволило исследовать их влияние на адгезионные и физико-химические свойства битума.

Процедура подготовки образцов битума включала смешивание битума с добавками в пропорциях, соответствующих данным литературы и рекомендациям производителей модификаторов. Смесь нагревалась до температуры 160–180°C и тщательно перемешивалась в течение 30 минут до достижения равномерного распределения добавок. Затем подготовленные образцы были использованы для проведения различных лабораторных испытаний.

Оценка адгезионных свойств битума проводилась с помощью стандартных методов, таких как метод "пятна" и метод остаточной прочности сцепления после водной обработки, согласно ГОСТ 11508-74 и AASHTO T 283. Эти методы позволяют оценить способность битума сцепляться с минеральными материалами при воздействии воды, что является важным показателем устойчивости дорожных покрытий в условиях повышенной влажности. В испытаниях использовались различные виды минеральных заполнителей (щебень, песок, минеральный порошок), соответствующие требованиям ГОСТ 8269.0-97.

Для оценки водостойкости использовался метод водного насыщения битума, в соответствии с ГОСТ 18105-2010, при котором образцы битума подвергались воздействию воды при температуре 60°C в течение 48 часов. После обработки измерялись изменения массы и пенетрации, что позволило оценить, насколько хорошо модифицированные битумы выдерживают воздействие влаги, не теряя своих сцепляющих свойств.

Кроме того, для исследования термостабильности применялся метод RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test), согласно AASHTO T 240. В данном испытании битумные пленки подвергались старению при температуре 163°C в течение 85 минут, что моделирует воздействие высоких температур в процессе эксплуатации. После старения проводились измерения изменения массы, вязкости и пластичности образцов, что позволило оценить устойчивость модифицированных битумов к термическому старению.

Результаты и обсуждение

Влияние модифицирующих добавок на адгезионные свойства битумных вяжущих

В ходе исследования были испытаны битумные вяжущие, модифицированные различными добавками: полимерными (например, стирол-бутадиен-стирол — СБС), поверхностно-активными веществами (ПАВ) и адгезионными активаторами (например, аминовые соединения). Оценка адгезии битума к минеральным заполнителям проводилась методом определения остаточной прочности сцепления после водной обработки.

Таблица 1 – Влияние модифицирующих добавок на адгезию битума к минеральным заполнителям

Добавка	Концентрация, %	Остаточная прочность сцепление, %
Без добавок	-	65
СБС	3	85
ПАВ	0.5	80
Аминовые соединения	0.3	88

Результаты показывают, что введение модифицирующих добавок значительно повышает адгезионные свойства битума. Наибольший эффект наблюдается при использовании аминовых соединений, где остаточная прочность сцепления достигает 88%. Полимерные добавки, такие как СБС, также демонстрируют существенное улучшение адгезии.

Влияние модификаторов на водостойкость битумных пленок

Испытания водостойкости проводились путем выдерживания битумных пленок в воде при 60°C в течение 48 часов с последующим измерением изменения массы и пенетрации.

Таблица 2 – Изменение массы и пенетрации битумных пленок после водной обработки

Добавка	Изменение массы, %	Изменение пенетрации, %
Без добавок	+1.5	-20
СБС	+0.5	-5
ПАВ	+0.7	-8
Аминовые соединения	+0.3	-3

Модифицированные битумы демонстрируют меньшие изменения массы и пенетрации после водной обработки, что свидетельствует о повышенной водостойкости. Особенно эффективны аминовые соединения, обеспечивающие минимальные изменения параметров.

Термостабильность модифицированных битумов

Термостабильность оценивалась методом RTFOT, определяя изменение массы и пластичности битума после термического старения.

Таблица 3 – Показатели битума после термического старения

Добавка	Изменение массы, %	Изменение пенетрации, %
Без добавок	-0.8	-25
СБС	-0.3	-10
ПАВ	-0.5	-12
Аминовые соединения	-0.2	-8

Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что использование различных модифицирующих добавок, таких как полимерные, поверхностно-активные вещества и аминовые соединения, значительно улучшает адгезионные свойства битумных вяжущих. Наибольший эффект наблюдается при добавлении аминовых соединений, что способствует повышению сцепления битума с минеральными заполнителями и увеличивает водостойкость и термостабильность материалов. Эти улучшения позволяют существенно продлить срок службы дорожных покрытий, снизив потребность в их ремонте и обслуживании. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности повышения долговечности и эксплуатационных характеристик дорожных покрытий, что имеет важное значение для снижения затрат на содержание дорог и повышения безопасности дорожного движения. Для дальнейших исследований рекомендуется провести дополнительные испытания с использованием новых модификаторов, таких как наноматериалы, а также продолжить оценку долговечности модифицированных битумов в реальных условиях эксплуатации.

Список использованных источников

1. Kemalov, A., & Akhmetov, A. (2018). Polyfunctional Modifiers for Bitumen and Bituminous Materials with High Performance. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2018/7913527>
2. He, L., & Wang, Y. (2020). Preparation and Performance Assessment of Asphalt Emulsion Modified by the Fabricated SBS Latex. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/6699416>
3. Pirhadi, A., & Mirshekarian Babaki, M. (2024). Effect of Polymer Modifiers on the Properties of Bitumen. *Journal of Materials in Civil Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/257305331_Effect_of_polymer_modifiers_on_the_properties_of_bitumen
4. Yilmaz, M., & Karakas, A. S. (2023). Improvement in Performance Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixtures by Means of Polyvinyl Acetate. *Journal of Composites Science*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.3390/jcs5010009>
5. Zhang, F., Yu, J., & Han, J. (2023). A review of polymer-modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(3), 343–362. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.10.003>
6. Zhao, Y., & Wang, Y. (2024). Adhesion performance and enhancement mechanism of FA/GGBFS-based geopolymer in bitumen-aggregate system. *Construction and Building Materials*, 365, 130099. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130099>

Сведения об авторах (на трех языках):

Автор 1 - Магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, shangerey182@gmail.com

Автор 1 - Магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, shangerey182@gmail.com

Author 1 - Master's Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, shangerey182@gmail.com

Вклад авторов:

Автор 1 - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДЫҢ ЖОЛ БЕТОНДАРЫ ҮШІН АДГЕЗИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ

Шангерей Ұран Арысұлы^{1*}

¹Магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі – Жумагулова Адия Аскарарна

*Корреспондент автор: shangerey182@gmail.com

Аннотация: Қазіргі заманғы жол жабындары климаттық және механикалық әсерлердің күрделі жағдайында жұмыс істеуге бейімделуі тиіс. Бұл ретте битумды байланыстырғыштардың минералды толтырғыштармен жеткіліксіз адгезиясы жабынның бұзылуына әкелетін басты мәселелердің бірі болып табылады. Бұл зерттеуде модификациялаушы қоспалар қолдану арқылы битум адгезиясын жақсарту жолдары қарастырылады.

Зерттеудің мақсаты – адгезиялық-активті және полимерлі қоспалардың битум қасиеттеріне әсерін зерттеу және жоғары төзімді жол жабындарын қамтамасыз ететін оңтайландырылған құрамды әзірлеу.

Лабораториялық сынақтар, физика-механикалық қасиеттерді талдау және адгезиялық сипаттамаларды салыстырмалы бағалау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, белгілі бір модификаторлар түрлерін қолдану битум мен минералды материал арасындағы байланыс беріктігін, суға төзімділігін және термиялық тұрақтылығын арттырады.

Ұсынылған шешімдер жол жамылғысының ұзақ қызмет етуін, жөндеу шығындарының төмендеуін және жол қауіпсіздігін арттыруды қамтамасыз етеді. Зерттелген құрамдар жол құрылысына кеңінен енгізуге ұсынылады.

Түйінді сөздер: битумды байланыстырғыштар, адгезия, модификациялаушы қоспалар, жол жабындары, суға төзімділік, полимерлі қоспалар, тұрақтылық.

IMPROVING THE ADHESIVE PROPERTIES OF BITUMINOUS BINDERS FOR ROAD CONCRETE

Shangerei Uran Arisuly^{1*}

¹Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: shangerey182@gmail.com

Abstract: Modern Road pavements require improved performance characteristics, especially under harsh climatic and mechanical conditions. One of the key issues is the insufficient adhesion of bituminous binders to mineral aggregates, which leads to pavement degradation. This study explores methods for improving the adhesive properties of bitumen using modifying additives.

The aim of the research is to study the influence of various adhesion-active and polymer additives on the properties of bituminous binders and to develop an optimized composition that ensures high pavement durability.

The research includes laboratory testing of bituminous mixtures, analysis of their physical and mechanical properties, and comparative evaluation of adhesion characteristics. The results showed that certain types of modifiers significantly enhance bitumen bonding with mineral aggregates, as well as its water resistance and thermal stability.

The proposed solutions contribute to extending pavement service life, reducing maintenance costs, and improving road safety. The developed compositions are recommended for widespread use in road construction.

Keywords: bituminous binders, adhesion, modifying additives, road pavements, water resistance, polymer additives, durability.



Copyright: © 2024 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/>).



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СИМУЛЯЦИЯ ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ЗДАНИЙ НА ПОТРЕБЛЕНИИ ЭНЕРГИИ В АСТАНЕ

<https://orcid.org/0009-0009-8359-1486>  Бекетов Даурбек^{1*}

¹ Магистрант «Архитектурно-строительного» факультета, кафедра «Строительство», Евразийский Национальный Университет, Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: jekod52@gmail.com

Аннотация. Здания потребляют около 40% мировой энергии и являются значительным источником выбросов углерода, поэтому их энергоэффективность играет важную роль в экологической устойчивости. Учитывая их долгий срок эксплуатации, повышение энергоэффективности критично для сокращения негативного воздействия на окружающую среду. В данном исследовании рассматривается влияние ориентации зданий на энергопотребление в Астане, Казахстан, где температура колеблется от -35°C до +40°C.

Для адаптации к суровым зимам Астаны изучаются пассивные архитектурные решения и интеграция возобновляемых источников энергии в проектирование зданий. В ходе исследований проводилось моделирование, оценивающее влияние различных факторов на энергопотребление. Результаты подтвердили, что ориентация здания значительно влияет на его энергоэффективность: наименее энергозатратными оказались направления на север и юг. Была проанализирована исходная ориентация (35° на северо-восток), а полученные данные проверены в соответствии с местными и международными стандартами.

Данное исследование способствует реализации стратегии энергосбережения в Астане, предлагая решения для климатически адаптивной архитектуры. Оптимизация ориентации зданий улучшает пассивный обогрев и охлаждение, снижая зависимость от традиционных источников энергии. Эти выводы помогают создавать энергоэффективные здания для экстремальных климатических условий.

Ключевые слова энергоэффективность, ориентация зданий, пассивное проектирование, возобновляемая энергия, экстремальные климатические условия, энергопотребление.

Введение

Строительная отрасль оказывает значительное влияние на изменение климата. Хотя она составляет важную часть инфраструктуры и активов страны, она также является одним из крупнейших потребителей природных ресурсов и оказывает серьезное воздействие на окружающую среду. Данный сектор способствует загрязнению воздуха и воды, образованию различных отходов, а также потребляет значительное количество воды и сырья [1].

Устойчивое развитие в жилищном секторе имеет ключевое значение, поскольку он характеризуется высоким уровнем потребления энергии и воды, негативным влиянием на окружающую среду, а также социально-экономическим воздействием на население [2]. Таким образом, обеспечение устойчивости как существующего, так и нового жилья является приоритетной задачей. В связи с этим настоящее исследование направлено на

оптимизацию энергоэффективности вновь строящихся жилых объектов с целью сокращения общего энергопотребления.

Казахстан – стремительно развивающееся государство в Центральной Азии, занимающее девятое место в мире по территории и обладающее богатыми природными ресурсами, включая полезные ископаемые и ископаемое топливо (Рис. 1) [3]. За последнее десятилетие ВВП страны увеличился более чем на 30%, что в основном было обусловлено ростом экспорта нефти, газа и других сырьевых ресурсов, что значительно улучшило социально-экономическое положение населения [4]. Стоит отметить, что Казахстан занимает 11-е место в мире по доказанным запасам нефти, которые составляют около 30 миллиардов баррелей [5].

Быстрый экономический рост Казахстана значительно повлиял на развитие строительной отрасли. Согласно данным [6], производительность в сфере строительства в стране выросла почти в восемь раз за последнее десятилетие. Значительная часть этого роста приходится на жилищное строительство, что в основном связано с государственными программами, направленными на увеличение доступности жилья и сокращение его дефицита. В настоящее время в Казахстане наблюдается нехватка жилья в размере около 100 миллионов квадратных метров [7].

Согласно данным [8], инвестиции в жилищный сектор Казахстана только в 2024 году выросли более чем в 2,3 раза. Всего к 2029 году планируется возвести 111 млн кв. м жилья. Лидерами по темпам строительства стали Астана, Алматы, Шымкент, а также Павлодарская, Туркестанская и Кызылординская области [9].



Рисунок 1 – Казахстан, Астана (51 градус 10' 52" с.ш./71 градус 25' 40" в.д.)

Если новые здания будут спроектированы с учетом принципов низкого энергопотребления, это снизит затраты на эксплуатацию и улучшит экологическую ситуацию. Для оценки этой возможности были изучены типовые здания в Астане, чтобы определить их среднее энергопотребление и оценить влияние изменений на его снижение. В результате анализа были выбраны девятиэтажные здания из керамического кирпича, наиболее распространенные на правом берегу города. Для исследования были отобраны три идентичных жилых комплекса: Достар-1, Достар-2 и Достар-3. Несмотря на одинаковые строительные характеристики, их энергопотребление различалось из-за ориентации и расположения.

Исследования подтверждают, что такие параметры, как форма, изоляция и ориентация здания, существенно влияют на энергопотребление [10][11][12][13]. Ориентация играет ключевую роль в пассивном проектировании [14][15]. По данным Manioglou [16] и Nabibi

[17], южная ориентация наиболее эффективна для максимального накопления тепла зимой и защиты от перегрева летом. В условиях Казахстана, где наблюдаются экстремальные температуры, ориентация здания имеет решающее значение. Полученные результаты подтвердили предыдущие исследования и доказали, что «оптимальная» ориентация значительно снижает энергопотребление.

Рекомендуется применять эти выводы при проектировании новых зданий, особенно в условиях стремительного роста строительства. В статье описаны методология, исходные данные, моделирование, расчет тепловых нагрузок и выводы.

Методология

Для оценки влияния ориентации здания на его энергопотребление были проведены численные симуляции с использованием программного обеспечения Design Builder [18], а также независимый тепловой анализ. Методология этих исследований представлена в следующих разделах.

Исходные данные:

Для исследования были выбраны жилые комплексы в Астане, так как большая часть жилищного строительства в Казахстане сосредоточена в столице [19]. Астана расположена на координатах 51°10'52" с.ш. и 71°25'40" в.д. [20], а ее климат является типичным для данного региона.

Для анализа энергопотребления типового многоэтажного здания были выбраны три идентичных жилых комплекса, каждый из которых состоит из шести зданий. Подробная информация о зданиях и климатических параметрах Астаны представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Общая информация исследуемых зданий

№ здания (всего 18)	Количество этажей	Ориентация здания	Описание	Основные характеристики	Расходы в Астане
1	9	Северо-Восток	Многоквартирный жилой комплекс на 850 квартир: 210: 36–43 м ² 455: 52–65 м ² 185: 75–81 м ²	Материал строительства: кирпич Внешний слой: керамический кирпич Окна: трехслойное остекление Отопление: центральная сеть Вентиляция: естественная Водоснабжение: общегосударственная сеть Канализация: общегосударственная сеть Высота потолка: 2,5 м Толщина стен: наружная — 690 мм Внутренние между квартирами (газобетон) — 200 мм Внутренние между комнатами (газобетон) — 100 мм Двери: металлические Балкон: однослойное остекление	Электроэнергия: 23 тенге/кВтч (ночь) 37 тенге/кВтч (день) Природный газ: 985 тг/м ³ Отопление: 216 тг/м ² Горячая вода: 354 тг/м ³ Холодная вода: 78 тг/м ³ Канализация: 51 тг/м ³
2	9	Северо-Запад			
3	9	Северо-Запад			
4	9	Юго-Запад			
5	9	Юго-Восток			
6	9	Юго-Восток			

Таблица 2 - Общий вид и планировка исследуемых зданий

Тип здания	Изображение (3D)	Общий вид	Генеральный план
Здание из одного блока			
			

Обязательные строительные нормы Казахстана приведены в [21]. В них указаны климатические данные для всех регионов страны, которые используются при проектировании зданий любого назначения – жилых, промышленных и других. Согласно этим нормативам, климатические параметры Астаны приведены в таблицах 3 и 4. Кроме того, на рисунках 2 и 3 показаны климатические условия города на основе метеорологических данных [22].

Таблица 3 – Климатические параметры Астаны для холодного периода года

Параметр	Значение
Температура воздуха за 5 самых холодных дней (вероятность 0,98), °С	-36
Температура воздуха в самый холодный день (вероятность 0,98), °С	-41
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	-52
Среднесуточная амплитуда температуры воздуха в самый холодный месяц, °С	9
Среднесуточная относительная влажность воздуха в самый холодный месяц, %	80
Количество осадков за период ноябрь–март, мм	88
Преобладающее направление ветра в период декабрь–февраль	Юго-Запад (SW)
Максимальная средняя скорость ветра по румбам в январе, м/с	5.9

Таблица 4 – Климатические параметры Астаны для теплого периода года

Параметр	Значение
Температура воздуха (вероятность 0,98), °С	29.5
Средняя максимальная температура воздуха в самый теплый месяц, °С	27
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С	39
Среднесуточная относительная влажность воздуха в самый теплый месяц, %	57
Количество осадков за период апрель–октябрь, мм	238
Преобладающее направление ветра в период июнь–август	Северо-Восток
Максимальная средняя скорость ветра по румбам в июле, м/с	3.7



Рисунок 2 - График абсолютных температур в Астане за 2024

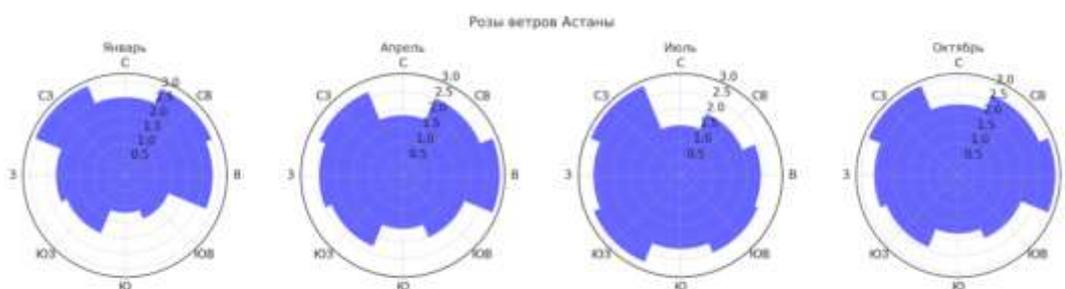


Рисунок 3 - Розы ветров в г. Астана за 2024 год (в разрезе на 4 месяца)

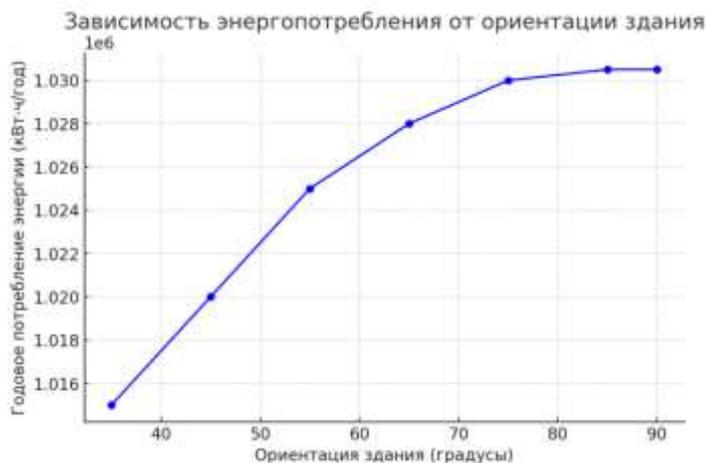


Рисунок 4 – Ориентация в зависимости от общей энергии на объекте в год

Симуляции:

Обзор программного обеспечения Design Builder.

Ориентация здания играет важную роль в доступе естественного освещения, естественной вентиляции и солнечного нагрева – обеспечивая тепло в холодные месяцы и снижая перегрев в теплый период. Оптимальная ориентация здания, которая максимально использует эти природные факторы, позволяет значительно снизить энергопотребление.

Для подтверждения этой гипотезы была использована передовая программа, объединяющая быстрый процесс моделирования зданий с динамическим энергетическим

анализом. Программное обеспечение Design Builder позволяет проводить всестороннюю оценку экологической эффективности здания, включая общее энергопотребление, потребность в тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения, а также показатели комфорта внутри помещений. Эти расчеты выполняются с использованием детализированных симуляций с субчасовыми временными интервалами на основе инструмента EnergyPlus.

Технические характеристики зданий были получены от основной строительной компании, занимавшейся возведением жилых комплексов. В ходе исследования моделировались различные варианты ориентации зданий, чтобы определить их влияние на общее энергопотребление.

Результаты и Обсуждение

На начальном этапе исследования была выбрана одна из 18 рассматриваемых зданий для систематической оценки различных вариантов ориентации с использованием программных инструментов Design Builder и Energy Plus.

Изначально здание ориентировалось под углом 35 градусов в северо-восточном направлении. Как показано на рисунке 4, результаты симуляции демонстрируют, что общее потребление энергии (сумма тепловой и электрической энергии, используемой зданием) увеличивается при повороте здания по часовой стрелке.

При изменении ориентации в противоположном направлении (против часовой стрелки) энергопотребление начинает постепенно снижаться. Однако этот процесс продолжается только до момента, пока удлиненная ось здания не окажется вдоль линии восток-запад. Если здание повернуть дальше, его энергопотребление снова начинает расти (рис. 5). Таким образом, результаты показывают, что для данного здания наилучшей ориентацией является северное направление.

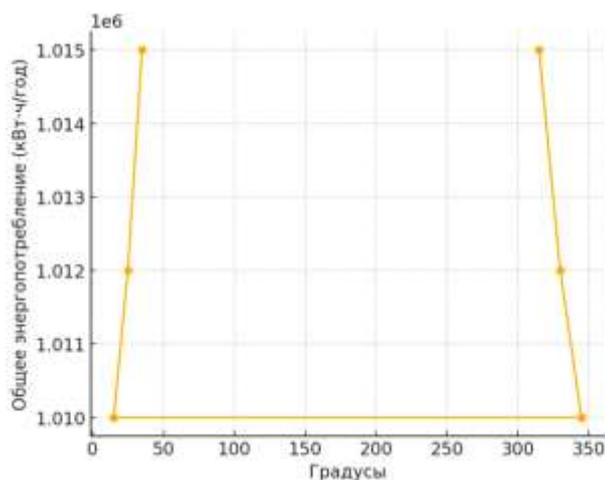


Рисунок 5 – Ориентация в зависимости от общей энергии на объекте в год

Тем не менее, северная ориентация не является единственным оптимальным вариантом. Масштабный анализ взаимосвязи между ориентацией зданий и их энергопотреблением показал, что южная ориентация также является эффективной (рис. 6).

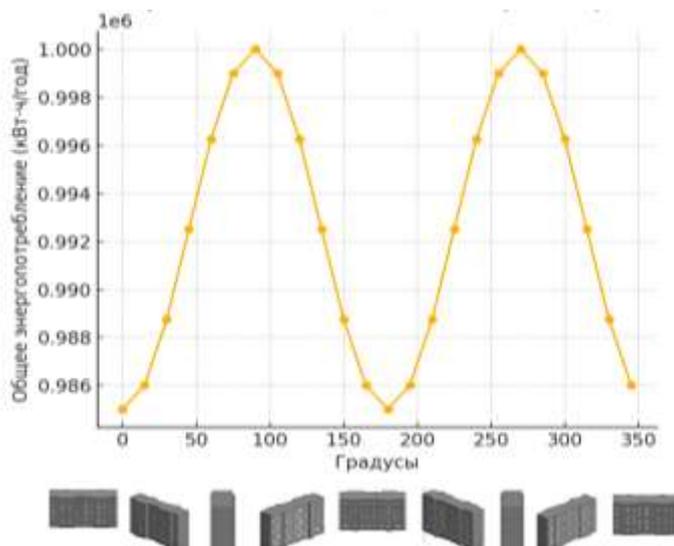


Рисунок 6 – Ориентация в зависимости от общей энергии на объекте в год

Для более детального изучения оптимального направления с точки зрения экономии энергии была проведена оценка ориентации на 180 градусов. Выяснилось, что поворот здания на 185 градусов позволяет снизить энергопотребление на 0,25% по сравнению с северной ориентацией (0 градусов) (рис. 7). Данный результат свидетельствует о том, что южное направление (185 градусов) является наиболее энергоэффективным. Вероятно, это связано с тем, что при этом положении большая площадь окон получает солнечное освещение, что улучшает естественное обогревание здания.

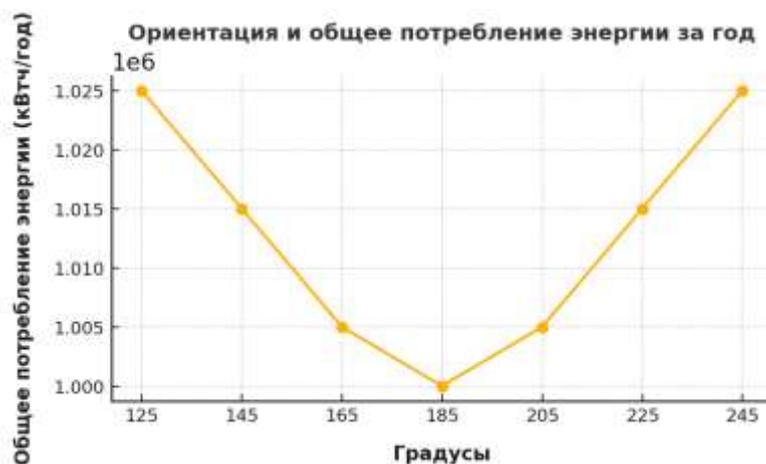


Рисунок 7 – Ориентация в зависимости от общей энергии на объекте в год

Расчет тепловой нагрузки:

Тепловой анализ. Расчеты тепловой нагрузки для стен выполнены на основе [23]. Необходимое значение сопротивления теплопередаче определяется как максимум из:

$$R_0^{req} = \frac{n(t_{in} - t_{ext})}{\Delta t \alpha_{in}} \quad (1)$$

Заданные значения: $n = 1$; $t_{in} = 25^\circ\text{C}$; $t_{ext} = 36^\circ\text{C}$; $\Delta t = 4^\circ\text{C}$; $\alpha_{in} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Другое значение, взятое из [24], — это параметр D_d , известный как «градус-дни отопительного периода».

Согласно [24], для Астаны D_d составляет $6286^\circ\text{C}\cdot\text{день}$. Интерполируя значения из [23] для $D = 6286^\circ\text{C}\cdot\text{день}$ и используя уравнение (1), максимальное значение R_0^{req} определяется как $6 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$.

Это означает, что для строительства стен должно быть выполнено следующее условие:

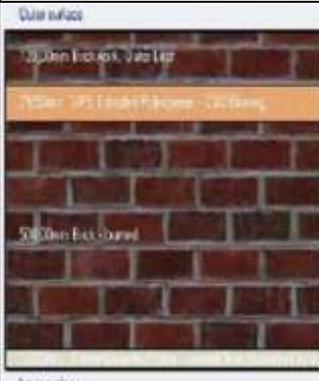
$$R_0^{req} \leq R_0^{des} \quad (2)$$

Расчетное значение сопротивления теплопередаче определяется как:

$$R_0^{des} = \frac{1}{\alpha_{in}} + R_{wc} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (3)$$

где α_{in} то же самое, что и в уравнении (1); $R_{wc}=d/U$; $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$ из [23]. Конструкция стены состоит из четырех слоев, как описано в таблице 5.

Таблица 5 - Описание конструкции стены

Схема	Слой	Толщина, d, м	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² С)
	Кирпичная кладка	0.12	0.56
	Полистирол	0.0795	0.034
	Кирпичная кладка	0.5	0.56
	Цементная штукатурка	0.013	0.58

Расчетное значение $R_0^{des} = 3,63 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$, что указывает на выполнение условия (2) выше.

Оценка общего значения теплопередачи (ОТТВ).

Чтобы приблизительно оценить потребление энергии ограждающей конструкцией здания, значение ОТТВ для внешних стен было рассчитано и сравнено на основе ориентации здания. Оценка проводилась в соответствии с Кодексом строительного управления Гонконга для ОТТВ в зданиях [23].

Значение ОТТВ для внешних стен определяется по следующей формуле:

$$OTTV_w = \frac{(A_w \times U \times \alpha \times T_{DEQw}) + (A_{fw} \times SC \times ESM \times SF)}{A_{ow}} \quad (3)$$

Для приблизительной оценки энергопотребления оболочки здания ОТТВ внешних стен анализировался на основе ориентации здания с использованием Кодекса строительного управления Гонконга для ОТТВ в зданиях [23].

Параметры, используемые в расчетах: $A_w = 303,264 \text{ м}^2$, $U = 0,275 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$, $\alpha = 0,88$, T_{DEQw} (изменяется в зависимости от стороны света), A_{fw} (фасад) = $275,4 \text{ м}^2$, A_{fw} (тыльная сторона) = $201,6 \text{ м}^2$, $SC = 0,5$ (для тройного остекления), $ESM = 1$ (без затенения), SF (изменяется в зависимости от стороны света), A_{owx} (непрозрачные стены) = $303,264 \text{ м}^2$, Фасад и тыльная сторона стен = $1462,374 \text{ м}^2$.

Поскольку ориентация здания была основной переменной, все остальные параметры оставались неизменными. Площади стен и окон были получены из чертежей и

аксонометрического вида здания. Значения TDEQ_w и SF приведены в Таблице 6 с учетом плотности конструкции стен.

Таблица 6 – Значения TD_{EQw} и SF

Параметр	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
TD _{EQw} , °C	1.70	2.05	2.40	1.90	1.40	1.75	2.10	1.90
SF	104	138	168	197	191	202	175	138

Рассчитанные значения OTTV нанесены на график в зависимости от основных ориентаций на Рис. 8, а нумерация стен показана на Рис. 9. Для упрощения сравнения с различными доступными наборами данных использовалась упрощенная модель. Будущие исследования позволят усовершенствовать модель, включив окна для дальнейшего анализа. Однако из-за небольшой площади поперечного сечения окна на коротких стенах оказывают минимальное энергетическое воздействие по сравнению с более длинными стенами.

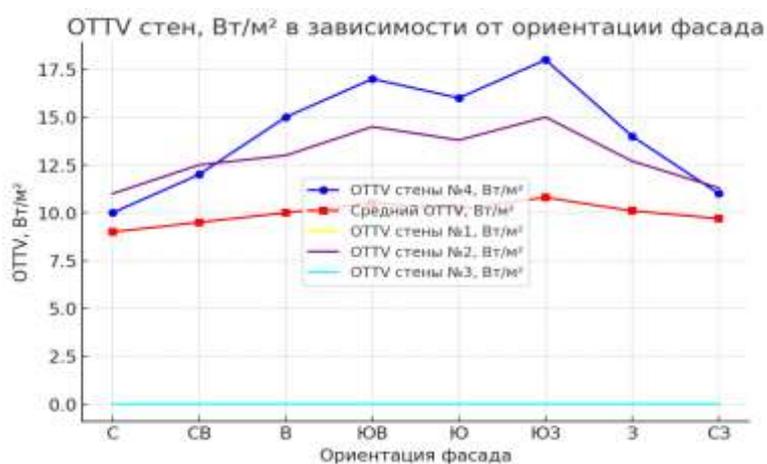


Рисунок 8 – Результаты расчетов OTTV

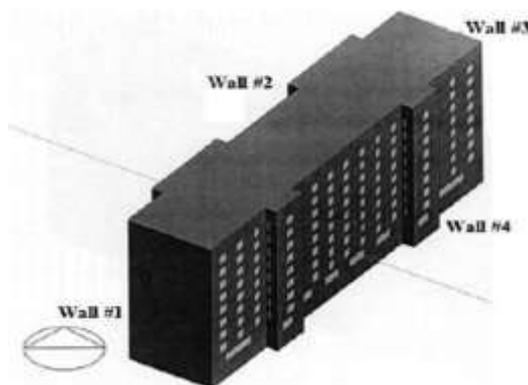


Рисунок 9 – Конфигурация здания (wall - стена)

Метрика OTTV оценивает способность здания поглощать внешнее тепло и выделять (терять) внутреннее тепло. Минимизация OTTV имеет решающее значение для снижения потребления энергии. Это исследование показывает, что оптимальная ориентация — это когда фасад здания (стена № 4) обращен на север и юг.

Стены № 1 и № 3 (восточная и западная) не имеют окон.

В [25] говорится, что наилучшая ориентация для прямоугольного здания — вдоль оси восток-запад.

[26] предполагает, что в жарком и влажном климате более длинный фасад, обращенный с севера на юг, является лучшим для энергоэффективности.

Таким образом, результаты OTTV дают разумную и точную оценку оптимальной ориентации здания.

Этот анализ представляет собой обзор оценки влияния ориентации зданий на их энергопотребление в Астане, Казахстан. Использование вычислительных инструментов позволило учитывать различные климатические особенности, характерные для данного региона, такие как температурные колебания от $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, направление сильных ветров, продолжительность светового дня и другие факторы.

Кроме того, в расчетах были учтены строительные характеристики, включая используемые материалы, типичные виды деятельности в помещениях, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) и другие параметры. Такая гибкость позволила провести моделирование поведения здания и оценить, как изменения определенных входных данных могут повлиять на общее энергопотребление объекта.

Результаты моделирования показали, что ориентация здания оказывает значительное влияние на уровень энергопотребления. В частности, изменение ориентации подтвердило первоначальные предположения о том, что расположение здания влияет на его энергоэффективность. Наиболее благоприятными с точки зрения энергопотребления оказались направления на юг и север (изначальная ориентация здания составляла 35 градусов к северо-востоку).

Эти выводы были подтверждены отдельными расчетами, основанными на местных и международных стандартах и нормативах. Наименьшие значения коэффициента OTTV (общей теплопередачи) были получены при ориентации длинных фасадов здания в направлении север-юг. Несмотря на то, что расчетное значение удельного энергопотребления на отопление во всех случаях оказалось ниже нормативного, анализ результатов показал, что наиболее благоприятным вариантом является южная ориентация главного фасада (с большей площадью остекления). Таким образом, оптимальный баланс достигается при направленности фасада здания на юг.

Это указывает на перспективное направление для строительной отрасли. В Казахстане традиционная ориентация зданий определяется не столько критериями энергоэффективности, сколько эстетическими соображениями. Как правило, здания размещаются параллельно существующим дорогам или перпендикулярно к соседним постройкам. Однако в условиях изменения климата правительству следует учитывать все возможные пути оптимизации проектирования зданий, включая предложенный аспект ориентации, а также интеграцию современных технологий и практик устойчивого строительства.

Заключение

Влияние ориентации здания на энергопотребление было оценено с использованием двух методов: детального моделирования и тепловых расчетов. Данное исследование обладает рядом преимуществ по сравнению с другими работами в этой области.

Во-первых, в нем совмещены вычислительный анализ и современные технологии, что позволило получить более широкий взгляд на проблему. Такой подход обеспечил детальное понимание обоих методов и позволил расширить и объяснить полученные результаты, придавая проекту количественную основу.

Во-вторых, программное обеспечение позволило учесть аспекты, которые невозможно было рассчитать традиционными методами, такие как затенение, месячное и суточное энергопотребление.

В-третьих, проведенный анализ дал возможность сравнить различные ориентации здания и выявить наиболее энергоэффективные направления. Это особенно важно, поскольку данный аспект еще недостаточно изучен в Казахстане.

Однако у данного исследования есть и ограничения. В первую очередь они связаны с ограниченным числом рассмотренных проектных факторов. Ориентация здания сама по себе не определяет стратегию проектирования, поэтому полученные результаты применимы только к конкретным зданиям. Для более комплексной оптимизации проектирования следовало бы учитывать типы материалов, строительные технологии и другие технические характеристики. Будущие исследования должны включать моделирование дополнительных факторов.

Тем не менее, полученные результаты представляют особую ценность, так как исследование затрагивает важный аспект экономики страны и общего благополучия населения. Снижение энергопотребления может привести как к финансовой экономии, так и к экологическим преимуществам.

Список литературы

1. Тыллануров Ы., Сапарова Т., Чолуков П. ИЗМЕНЕНИЕ СТАНДАРТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ //Вестник науки. – 2024. – Т. 4. – №. 12 (81). – С. 1914-1917.
2. Смагулова Ш. А. и др. Анализ потребления электроэнергии в Казахстане //Вестник университета «Туран». – 2024. – №. 2. – С. 139-154.
3. Profile C. Kazakhstan //The World Bank Group and the Asian Development Bank: Washington, DC, USA. – 2021. – Т. 32.
4. Жанакоева Н. Н. и др. СТРУКТУРА ВВП КАЗАХСТАНА: АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ КЛЮЧЕВЫХ ДРАЙВЕРОВ РОСТА //Статистика, учет и аудит. – 2024. – Т. 4. – №. 95. – С. 132-142.
5. Жуман Ж., Ду Б., Хамзаева А. Текущее состояние нефтегазовой отрасли Казахстана //«Вестник НАН РК». – 2024. – Т. 408. – №. 2. – С. 470-485.
6. Mekebayeva Z. et al. Assessment of trends in the development of housing construction in the Republic of Kazakhstan //Bulletin of the Karaganda university Economy series. – 2023. – Т. 110. – №. 2. – С. 61-69.
7. Альпеисова Ш. Е. и др. Современное взаимодействие государства и населения в реализации жилищного кредитования //Вестник университета «Туран». – 2022. – №. 4. – С. 89-101.
8. Тлешова А. Б. Модели оценки рентабельности инвестиционных проектов в жилой недвижимости на этапах планирования //Актуальные исследования. – 2025. – №. 6 (241). – С. 28-35.
9. Калымова А. К., Сим М. Д., Есахметова Л. М. ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПОЛИТИКА КАЗАХСТАНА: ТЕНДЕНЦИИ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ //Endless light in science. – 2025. – №. 31 январь ЭН. – С. 42-45.
10. Горшков А. С. и др. Проект здания с низким потреблением тепловой энергии на отопление //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №. 4. – С. 232-247.
11. Толокнова О. Ю. Исследование энергетической эффективности зданий : дис. – Сибирский федеральный университет, 2019.
12. Kohansal M. E. et al. Investigating the simultaneous effects of building orientation and thermal insulation on heating and cooling loads in different climate zones //Architectural Engineering and Design Management. – 2022. – Т. 18. – №. 4. – С. 410-433.
13. Abanda F. H., Byers L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling) //Energy. – 2016. – Т. 97. – С. 517-527.

14. Гарадурдыева Д., Ходжаев С., Чарыева А. ПАССИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ //Вестник науки. – 2024. – Т. 1. – №. 12 (81). – С. 1315-1319.
15. Калауулы А. Е., Куспангалиев Б. У., Самойлов К. И. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ КАЗАХСТАНА //Проблемы современной науки и образования. – 2023. – №. 8 (186). – С. 61-65.
16. Manioğlu G. Determination of building envelope and operation period of heating system according to life cycle cost //Research in Building Physics. – CRC Press, 2020. – С. 633-636.
17. Habibi S. The effect of building orientation on energy efficiency //Clean Technologies and Environmental Policy. – 2024. – Т. 26. – №. 4. – С. 1315-1330.
18. Garg V., Mathur J., Bhatia A. Building energy simulation: A workbook using designbuilder™. – CRC Press, 2020.
19. Бюлегенова Б. Б., Погодин С. Н., Туремуратов О. Ж. Урбанизация как глобальный тренд (на примере Казахстана) //Россия в глобальном мире. – 2024. – Т. 27. – №. 3. – С. 140-154.
20. Travelmath, 2025. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.travelmath.com/cities/Astana,Kazakhstan> (дата обращения: 07.03.2025).
21. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. Строительные нормы РК. СН РК 2.04-21-2004. – 2006. – Энергопотребление и тепловая защита гражданских зданий. Астана: АО «КазНИИСА»
22. Погода в астане. Температура воздуха и осадки. 2024 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=35188> (дата обращения: 07.03.2025).
23. Sheng W., Zhang L., Ridley I. The impact of minimum OTTV legislation on building energy consumption //Energy Policy. – 2020. – Т. 136. – С. 111075.
24. Construction Norms of Kazakhstan (CNK) 2.04-21-2006. 2006, “Energy Consumption and Thermal Protection of Residential (Civil) Buildings,” Astana, Kazakhstan.
25. Fallahtafti R., Mahdavinejad M. Optimisation of building shape and orientation for better energy efficient architecture //International Journal of Energy Sector Management. – 2015. – Т. 9. – №. 4. – С. 593-618.
26. He C., Tian W., Shao Z. Impacts of courtyard envelope design on energy performance in the hot summer–cold winter region of China //Buildings. – 2022. – Т. 12. – №. 2. – С. 173.

Сведения об авторах (на трех языках):

Д.Н. Бекетов - Еуразия ұлттық университеті, «Сәулет және құрылыс» факультеті, «Құрылыс» кафедрасының магистранты, Астана, Қазақстан, jekod52@gmail.com

Д.Н. Бекетов – Магистрант «Архитектурно-строительного» факультета, кафедра «Строительство», Евразийский Национальный Университет, Астана, Казахстан, jekod52@gmail.com

D.N. Beketov – Faculty of «Architecture and Construction», Department of Construction, Master's student, Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, jekod52@gmail.com

Вклад автор:

Д.Н. Бекетов - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Использование искусственного интеллекта (ИИ): ИИ не использовался ни на каком-либо из этапов написания и подготовки научного материала.

ҚҰРЫЛЫСТАҒЫ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІ: АСТАНА ҚАЛАСЫНДАҒЫ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУҒА ҚҰРЫЛЫС БАҒЫТЫНЫҢ ӘСЕРІН СИМУЛЯЦИЯЛАУ

<https://orcid.org/0009-0009-8359-1486>  Бекетов Даурбек^{1*}

¹ Еуразия ұлттық университеті, «Сәулет және құрылыс» факультеті, «Құрылыс» кафедрасының магистранты, Астана, Қазақстан
*Корреспондент автор: jekod52@gmail.com

Аннотация. Ғимараттар дүние жүзіндегі энергияның шамамен 40%-ын тұтынады және көміртегі шығарындыларының маңызды көзі болып табылады, сондықтан олардың энергия тиімділігі экологиялық тұрақтылықта маңызды рөл атқарады. Олардың ұзақ қызмет ету мерзімін ескере отырып, энергия тиімділігін арттыру қоршаған ортаға теріс әсерді азайту үшін өте маңызды. Бұл зерттеу температуралары -35°C -тан $+40^{\circ}\text{C}$ -қа дейін ауытқитын Астанадағы, Қазақстандағы энергия тұтынуға ғимарат бағдарының әсерін зерттейді.

Астананың қақаған қысына бейімделу үшін пассивті сәулеттік шешімдер мен жаңартылатын энергия көздерін ғимараттарды жобалауға біріктіру зерттелуде. Зерттеуге әртүрлі факторлардың энергияны тұтынуға әсерін бағалау үшін модельдеу кірді. Нәтижелер ғимараттың бағдарлануы оның энергия тиімділігіне айтарлықтай әсер ететінін растады: энергияны ең аз тұтынатын бағыттар солтүстік және оңтүстік болды. Бастапқы бағдар (35° солтүстік-шығыс) талданды және алынған деректер жергілікті және халықаралық стандарттарға сәйкес тексерілді.

Бұл зерттеу климатқа бейімделген сәулет үшін шешімдер ұсына отырып, Астанада энергия үнемдеу стратегиясын жүзеге асыруға ықпал етеді. Ғимарат бағдарын оңтайландыру дәстүрлі қуат көздеріне тәуелділікті азайта отырып, пассивті жылыту мен салқындатуды жақсартады. Бұл тұжырымдар төтенше климаттық жағдайлар үшін энергияны үнемдейтін ғимараттарды құруға көмектеседі.

Түйінді сөздер: энергия тиімділігі, ғимарат бағдары, пассивті дизайн, жаңартылатын энергия, экстремалды климаттық жағдайлар, энергия тұтыну.

ENERGY EFFICIENCY IN CONSTRUCTION: SIMULATION OF THE IMPACT OF BUILDING ORIENTATION ON ENERGY CONSUMPTION IN ASTANA

<https://orcid.org/0009-0009-8359-1486>  Beketov Daurbek^{1*}

¹ Faculty of «Architecture and Construction», Department of Construction, Master's student, Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

* Corresponding author: jekod52@gmail.com

Abstract. Buildings consume approximately 40% of the world's energy and are a significant source of carbon emissions, so their energy efficiency plays an important role in environmental sustainability. Given their long service life, improving energy efficiency is critical to reducing the negative impact on the environment. This study examines the impact of building orientation on energy consumption in Astana, Kazakhstan, where temperatures range from -35°C to $+40^{\circ}\text{C}$.

Passive architectural solutions and the integration of renewable energy sources into building design are explored to adapt to Astana's harsh winters. The study included modeling to assess the impact of various factors on energy consumption. The results confirmed that building orientation significantly affects its energy efficiency, with north and south facing directions

proving to be the least energy consuming. The original orientation (35° north-east) was analyzed and the data obtained were verified against local and international standards.

This study contributes to the implementation of the energy saving strategy in Astana by offering solutions for climate-smart architecture. Optimizing building orientation improves passive heating and cooling, reducing reliance on traditional energy sources. These findings help create energy-efficient buildings for extreme climates.

Keywords: energy efficiency, building orientation, passive design, renewable energy, extreme climate conditions, energy consumption.



Copyright: © 2024 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/>).



ТЕМПЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ РАСШИРЕНИЯ БЕТОННОЙ ДОРОГИ

Асемгуль Айкенова¹, Салтанат Ашимова^{1*}, Құрманғазы Тілеу¹, Әсемгүл Нигметова¹

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

*Корреспондент автор: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Аннотация. Статья посвящена анализу влияния климатических условий на эксплуатационные характеристики бетонных дорог, уделяя особое внимание температурным деформациям, возникающим в процессе их эксплуатации. Бетонные дороги обладают явными преимуществами с точки зрения долговечности и грузоподъемности, однако тепловое расширение и сжатие бетона, вызванное сезонными колебаниями температуры, может привести к образованию трещин и дефектов, снижающих физико-механические свойства дорожного покрытия. В статье представлен фрагмент комплексного исследования, проведенного на автодороге «Шымкент-Туркестан», где были исследованы образцы бетона, взятые с различных участков. Методология включала измерение геометрических размеров, плотности и температурных деформаций образцов. Средние значения плотности образцов с трех участков дороги составили 2,27 г/см³, 2,35 г/см³ и 2,42 г/см³ для участков 1, 2 и 3 соответственно. Низкие коэффициенты вариации во всех трех участках характеризуют высокое качество бетона с точки зрения однородности и его пригодности для дальнейшего исследования температурного расширения и сжатия. На основании полученных значений термического анализа образцов бетона из трёх мест установлена корреляция между тепловым расширением и усадкой с плотностью материала. Рост теплового расширения незначителен: при увеличении плотности на 3,4% тепловое расширение увеличивается на 0,7%. При увеличении плотности на 6,6% тепловое расширение составляет 3,7%. Рост теплового сжатия при увеличении плотности на 3,4% составляет 0,7%. При увеличении плотности на 6,6% тепловое расширение составляет 3,2%. Результаты исследования будут способствовать совершенствованию проектирования и эксплуатации бетонных дорог с учётом специфики местных климатических условий.

Ключевые слова: бетонные дороги, тепловые деформации, климатические условия, тепловое расширение, тепловое сжатие, плотность бетона, трещины дорожного покрытия, измерения плотности, колебания температуры, тепловые испытания, геометрические размеры, деформационные швы.

Введение

Строительство бетонных дорог в настоящее время имеет большое значение в связи с их неоспоримыми преимуществами с точки зрения долговечности и высоких эксплуатационных характеристик, таких как значительная несущая способность. В Казахстане построено около 1,6 тыс. км цементобетонных дорог, включая крупные автомагистрали. Однако при эксплуатации бетонных дорог возникают определенные проблемы, связанные с климатическими условиями региона, в частности, с тепловым расширением бетона. В некоторых источниках авторы связывают деформации дорожного покрытия с особенностями конструкции дорожного основания [1–4]. Согласно исследованиям, проведенным отечественными учеными в этой области, изменение температуры оказывает существенное влияние на долговечность и эксплуатационные

характеристики цементобетонных дорог [5–6]. При проектировании и строительстве таких дорог необходимо учитывать региональные климатические условия для обеспечения их надежности и долговечности. Бетон, как материал, подвержен тепловому расширению и сжатию, что может привести к образованию трещин и других дефектов на дорожном покрытии. Изучению свойств бетона посвящено множество научных работ [7–10]. Эти дефекты могут существенно снизить физико-механические свойства дорог, увеличивая затраты на содержание и ремонт. Поэтому понимание и учёт температурных деформаций бетонных дорог является ключевым аспектом при их проектировании. В данной статье рассматривается часть комплексного исследования бетонных дорог, в частности, оценка влияния температурных условий и регионального климата на их эксплуатационные характеристики. Исследование проводилось на участке автодороги «Шымкент-Туркестан», где были отобраны образцы керна для анализа.

Целью данного исследования является выявление закономерностей теплового расширения и сжатия бетона, что позволит усовершенствовать подходы к проектированию и эксплуатации автомобильных дорог с учетом специфики местных климатических условий. В данной статье представлен фрагмент комплексного исследования бетонных дорог, посвященного оценке влияния температурных условий и регионального климата на эксплуатационные характеристики дорог.

Методология исследования включала отбор проб бетона из различных точек исследуемого участка дороги, измерение их геометрических размеров, плотности и температурных деформаций. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по проектированию деформационных швов и повышению эксплуатационных характеристик бетонных дорог в различных климатических зонах.

Термический анализ расширения бетонных дорог является ключевым аспектом данного исследования, направленного на оптимизацию проектирования и эксплуатации дорог. В данной работе рассматривается влияние температурных изменений на степень расширения и сжатия дорожного покрытия. Особое внимание уделяется влиянию сезонных колебаний температур на бетонные конструкции, их термостойкость и долговечность.

Методология

Испытания бетона проводились на участке действующей автодороги «Шымкент-Туркестан». Для оценки теплового расширения бетона были отобраны керны в различных точках вдоль участка дороги. Для выявления статистических закономерностей в данных температурного анализа было отобрано по 6 образцов в каждой из трёх точек. Керны были отобраны на 70-километровом участке автодороги «Шымкент-Туркестан». Точки отбора кернов показаны на рисунке 1.

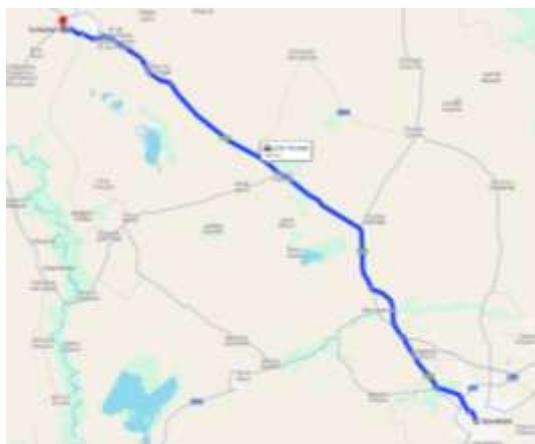


Рисунок 1 – Расположение мест отбора проб

Последовательность исследований:

- Бурение 18 кернов в трёх точках вдоль участка дороги.
- Измерение размеров и плотности образцов.
- Определение теплового расширения образцов методом нагрева.
- Определение теплового сжатия образцов методом охлаждения.
- Обработка и анализ результатов.



Рисунок 2 – Отбор керна

Образцы керна бурили алмазным буром с внутренним диаметром 150 мм (рисунок 2). Геометрические размеры образцов измеряли аттестованным штангенциркулем. Плотность определяли взвешиванием образцов на аттестованных весах. Нагрев и охлаждение проводили с использованием аттестованного термокамерного оборудования (КТХ), позволяющего длительно выдерживать образцы в диапазоне температур от +180°C до -50°C (рисунок 3). Испытания проводили в диапазоне температур от +70°C до -30°C. Температурный режим испытаний выбирался с учетом региональных климатических особенностей по результатам мониторинга температуры дорожного покрытия в летний и зимний периоды.



Рисунок 3 – Тепловые испытания образцов бетона

Для идентификации образцов каждому из них был присвоен порядковый номер в соответствии с местом отбора проб:

- Место отбора проб 1: образцы – $CS_1^1 - CS_1^6$;
- Место отбора проб 2: образцы – $CS_2^1 - CS_2^6$;
- Место отбора проб 3: образцы – $CS_3^1 - CS_3^6$;

Где «CS» обозначает конкретный образец, нижний индекс обозначает место отбора проб, а верхний индекс – номер образца.

Результаты испытаний

В таблице 1 представлены результаты измерений геометрических размеров и массы отобранных образцов бетона. На рисунке 4А показаны результаты измерения индивидуальных и средних значений плотности по местоположению, а на рисунке 4В — коэффициенты вариации индивидуальных значений в каждом месте.

Таблица 1 - Результаты измерений

Номер образца	Высота (см)	Диаметр (см)	Объем (см ³)	Масса (г)
CS ₁ ¹	4.43	14.3	711.1	1614
CS ₁ ²	4.63	14.3	743.2	1680
CS ₁ ³	4.45	14.3	714.3	1615
CS ₁ ⁴	4.73	14.3	759.3	1754
CS ₁ ⁵	4.54	14.3	728.8	1625
CS ₁ ⁶	4.66	14.3	748.0	1706
CS ₂ ¹	4.73	14.3	759.3	1776
CS ₂ ²	4.82	14.3	773.7	1764
CS ₂ ³	4.71	14.3	756.1	1791
CS ₂ ⁴	4.78	14.3	767.3	1834
CS ₂ ⁵	4.65	14.3	746.4	1776
CS ₂ ⁶	4.64	14.3	744.8	1729
CS ₃ ¹	4.98	14.3	799.4	1927
CS ₃ ²	4.84	14.3	776.9	1896
CS ₃ ³	4.99	14.3	801.0	1947
CS ₃ ⁴	4.87	14.3	781.8	1892
CS ₃ ⁵	4.98	14.3	799.4	1927
CS ₃ ⁶	5.0	14.3	802.6	1924

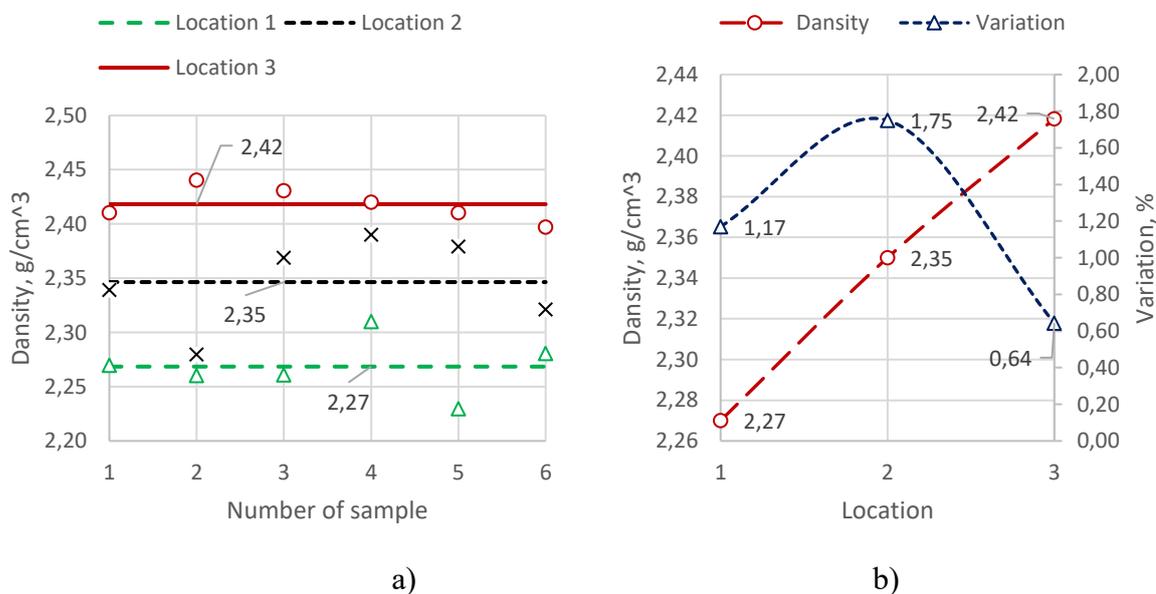


Рисунок 4 – Определение плотности образцов

Согласно результатам испытаний, плотность образцов бетона на участке 1 варьируется от 2,23 до 2,31 г/см³, при среднем значении 2,27 г/см³. Коэффициент вариации отдельных значений плотности составляет 1,77. На участке 2 значения плотности варьируются от 2,28 до 2,39 г/см³, при среднем значении 2,35 г/см³, коэффициент вариации

составляет 1,17. На участке 3 значения плотности варьируются от 2,40 до 2,44 г/см³, при среднем значении 2,42 г/см³ и коэффициенте вариации 0,64.

Наименьшая плотность бетона наблюдалась на участке 1, а наибольшая — на участке 3. Небольшие различия в плотности на разных участках могут быть связаны с использованием разных партий бетона при дорожном строительстве. Тем не менее, в каждом месте наблюдается высокая согласованность индивидуальных значений плотности, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты вариации. Низкие значения вариации во всех трех местах отражают высокое качество бетона с точки зрения однородности, что делает полученные данные о плотности пригодными для последующего термического анализа.

На рисунке 5А представлены результаты измерения теплового расширения бетона при максимальной температуре нагрева образца +70 °С. На рисунке 6А показано тепловое сжатие при минимальной температуре охлаждения образца -30 °С. На рисунках 5А и 6А представлены индивидуальные значения теплового расширения и сжатия, а на рисунках 5В и 6В — их средние значения по местам вместе с соответствующими коэффициентами вариации.

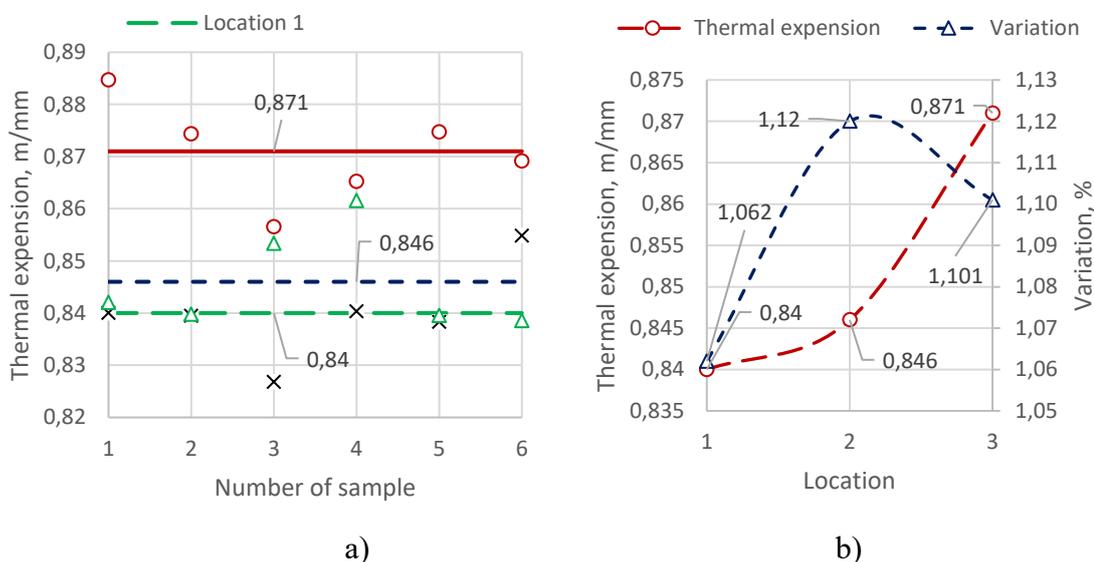


Рисунок 5 – Тепловое расширение образцов

Согласно результатам исследований, максимальные значения теплового расширения образцов в точке 1 находятся в диапазоне от 0,827 до 0,855 м/мм. Соответствующие значения для точки 2 находятся в диапазоне от 0,839 до 0,862 м/мм, а для точки 3 – от 0,865 до 0,885 м/мм. Средние значения теплового расширения составляют 0,840 м/мм для точки 1, 0,846 м/мм для точки 2 и 0,871 м/мм для точки 3. Коэффициенты вариации во всех трёх точках не превышают 1,2%, что свидетельствует о тесной корреляции между индивидуальными значениями и высокой степени достоверности полученных результатов.

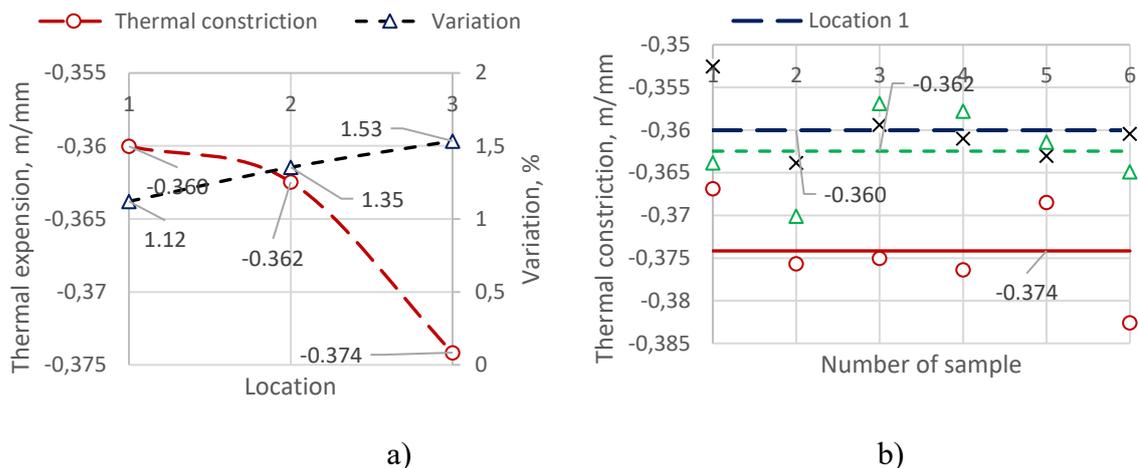


Рисунок 6 – Тепловое сжатие образцов

Согласно результатам исследований, максимальные значения термического сжатия образцов в точке 1 находятся в диапазоне от -0,353 до -0,364 м/мм. Соответствующие значения в точке 2 находятся в диапазоне от -0,357 до -0,370 м/мм, а в точке 3 – от -0,367 до -0,383 м/мм. Средние значения термического сжатия составляют для точки 1 -0,360 м/мм, для точки 2 -0,362 м/мм и для точки 3 -0,374 м/мм. Коэффициенты вариации во всех трёх точках не превышают 1,2%, что свидетельствует о тесной корреляции между индивидуальными значениями и высокой степени достоверности полученных результатов.

Различия в тепловом расширении и сжатии в различных точках отбора проб минимальны; однако максимальные значения как теплового расширения, так и сжатия наблюдаются в точке 3, а минимальные – в точке 1. Отклонения значений теплового расширения между точками 1 и 2 не превышают 0,71%, между точками 2 и 3 – 2,87%, а между точками 1 и 3 – 3,56%. Для теплового сжатия отклонения следующие: точка 1 относительно точки 2 составляет 0,68%, точка 2 относительно точки 3 – 3,12%, а точка 1 относительно точки 3 – 3,78%.

На рисунке 7 представлена номограмма необходимой ширины деформационного шва в зависимости от расстояния между швами.

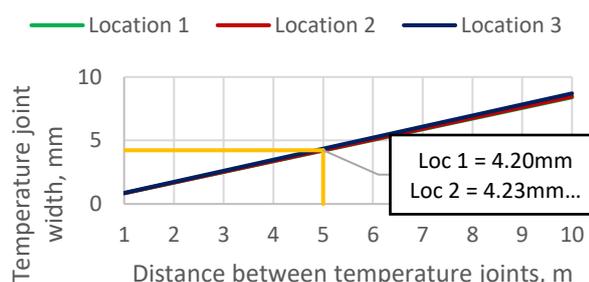


Рисунок 7 – Зависимость ширины деформационного шва от расстояния

Согласно номограмме, для проектного решения с шагом швов 5 метров требуемая ширина деформационных швов составляет: для пункта 1 – не менее 4,2 мм; для пункта 2 – не менее 4,23 мм; для пункта 3 – не менее 4,35 мм. Данные требования по температурному расширению соответствуют фактическому выполнению швов на участке дороги, где ширина шва составляет 8 мм, а шаг – 5 метров.

На рисунке 8А показана зависимость между тепловым расширением бетона и его плотностью в трёх точках. На рисунке 8Б показана та же зависимость для теплового сжатия.

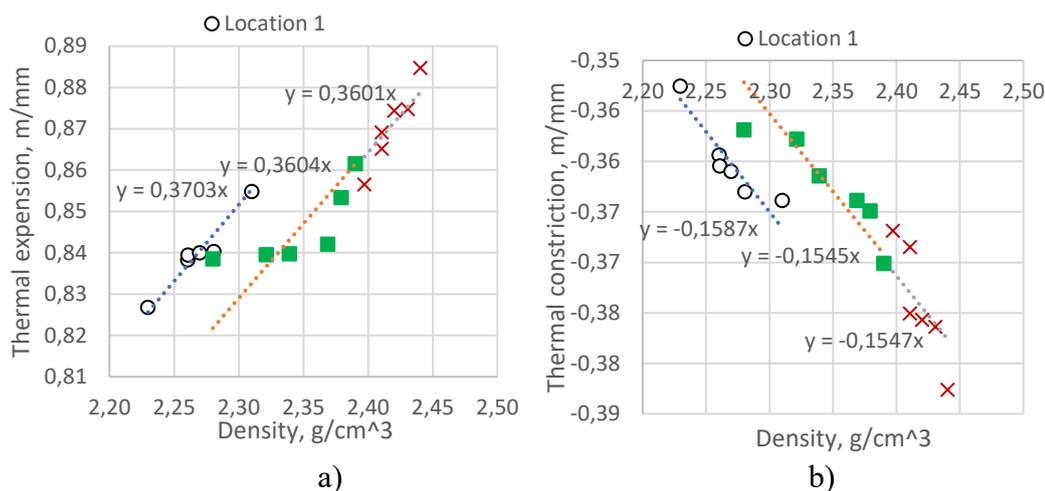


Рисунок 8 – Зависимость теплового расширения и сжатия от плотности бетона

Согласно диаграмме, наблюдается увеличение теплового расширения с ростом плотности материала. Аналогично, тепловое сжатие также увеличивается с ростом плотности. Увеличение теплового расширения минимально: при увеличении плотности на 3,4% тепловое расширение увеличивается на 0,7%, а при увеличении плотности на 6,6% – на 3,7%. Увеличение теплового сжатия при увеличении плотности на 3,4% составляет 0,7%, а при увеличении плотности на 6,6% – 3,2%.

В целом, увеличение теплового расширения можно логично объяснить увеличением плотности материала на единицу объема, что уменьшает микропористость, которая действует как буферная зона при тепловом расширении. Среднее соотношение между тепловым расширением и плотностью для испытанного бетона, представленное линейными функциями на диаграмме, можно выразить следующим образом:

$$\rho = 0,363\tau_{\text{exp}}$$

где ρ – плотность бетона, а τ_{exp} – тепловое расширение бетона при +70 °С. Среднее соотношение между тепловым сжатием и плотностью выражается как:

$$\rho = -0,156\tau_{\text{con}}$$

где ρ — плотность бетона, а τ_{con} — тепловое сжатие бетона при -35 °С.

Заключение

1. На опытном участке автодороги «Шымкент-Туркестан» был проведен тепловой анализ для оценки теплового расширения и сжатия бетона как в летний, так и в зимний период.

2. Результаты испытаний на плотность образцов, отобранных в трех различных точках вдоль дороги, показали относительно небольшой разброс индивидуальных значений как внутри одной точки, так и между ними. Разброс индивидуальных значений плотности в каждой точке не превышал 1,8%, а разница в плотности между точками варьировалась от 3,4% до 6,6%. Высокая плотность результатов отражает высокое качество бетона с точки зрения однородности и делает полученные данные о плотности пригодными для последующего теплового анализа.

3. Исследования теплового расширения и сжатия также продемонстрировали высокую степень сходимости индивидуальных значений как внутри одной точки, так и между ними. Погрешность индивидуальных значений теплового сжатия в пределах одной точки составила от 1,06% до 1,12%, а теплового расширения – от 1,12% до 1,53%. Низкое отклонение от среднего значения свидетельствует о высокой степени надежности полученных результатов. Сравнение теплового расширения на разных участках показало

минимальные отклонения, не превышающие 3,7%. Для теплового сжатия отклонения не превышали 3,9%.

4. На основании результатов исследований была разработана номограмма для определения необходимой ширины деформационных швов в зависимости от шага их расположения. Согласно номограмме, для проектного решения с шагом между швами 5 метров требуемая ширина деформационных швов составляет: не менее 4,2 мм для участка 1, 4,23 мм для участка 2 и 4,35 мм для участка 3. Данные требования к теплового расширению соответствуют фактическому выполнению швов на участке дороги, где ширина шва составляет 8 мм, а шаг между швами — 5 метров.

5. Были получены зависимости теплового расширения от плотности бетона. Среднее соотношение между тепловым расширением и плотностью для испытанного бетона можно выразить следующим образом: $\rho = 0,363\tau_{exp}$, где ρ — плотность бетона, τ_{exp} — тепловое расширение бетона при температуре +70 °С. Среднее соотношение для теплового расширения выражается как:

$\rho = -0,156\tau_{con}$, где ρ — плотность бетона, а τ_{con} — тепловое расширение бетона при -35 °С. В целом, увеличение теплового расширения логично объясняется увеличением плотности материала на единицу объема, что приводит к уменьшению микропористости, которая действует как буферная зона при тепловом расширении.

6. Несмотря на высокую степень сходимости результатов исследований, необходимы дальнейшие эмпирические исследования для точного измерения теплового расширения и сжатия бетона в данных климатических условиях. Тем не менее, полученные результаты будут ценны для проектирования цементобетонных дорог, в частности, для расчетов и проектирования деформационных швов.

Список литературы

1. Воздействие температуры на грунт и конструкции в транспортной инженерии / З. Шахмов, С. Куваков, Т. Аввад, Г. Тлеуленова, Д. Дюсембинов, А. Жумагулова // *Smart Geotechnics for Smart Societies*, 2023. — С. 244–249. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003299127-21>

2. Выбор эквивалентного материала для испытаний грунта с использованием свай на модельной испытательной установке / Р. Лукпанов, Д. Цыгулѳв, З. Жантлесова, А. Алтынбекова, С. Енкебаев, М. Кожакмет // *International Journal of GEOMATE*, 2024. — Т. 26, № 117. — С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.21660/2024.117.4167>

3. Оценка несущей способности свай переменного профиля в грунте с использованием модельных испытаний статической нагрузкой на испытательной установке / Р. Лукпанов, С. Енкебаев, З. Жантлесова, Д. Дюсембинов, А. Алтынбекова, Р. Рахимов // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. — Т. 2, № 1(128). — С. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301421>

4. Комплекс статических и динамических испытаний грунтов со сваями различными методами в неоднородных грунтовых условиях / Р.Е. Лукпанов, Д.В. Цыгулѳв, С.Б. Енкебаев, Д.С. Дюсембинов // *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022. — Т. 182. — С. 239–246. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_21

5. Процессы замерзания и оттаивания автодорог в Казахстане / Б. Тельтаев, Ч. Оливиеро Росси, К. Айтбаев, Э. Саппес, А. Елшибаев, А. Нугманова // *Applied Sciences (Switzerland)*, 2022. — Т. 12, № 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122311938>

6. Влияние комплексной добавки на прочностные характеристики бетона для дорожного строительства / Г. Рахимова, Г. Славчева, М. Айсанова, М. Рахимов, Е. Ткач // *International Journal of GEOMATE*, 2023. — Т. 25, № 110. — С. 243–250. DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.110.3934>

7. Исследование влияния предлагаемого двухэтапного метода инъекции пены и модифицированной добавки на удобоукладываемость пенобетона / Р. Лукпанов, Д.

Дюсембинов, А. Алтынбекова, С. Енкебаев, А. Жумагулова // *Materials*, 2024. — Т. 17, № 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17092024>

8. Инновационный инструмент оценки технического состояния существующих сборных железобетонных зданий с использованием методов глубокого обучения и тепловизионных спутниковых изображений / М. Каргин, Р. Лукпанов, А. Серенков, Е. Шаймаганбетов, Ж. Каргин, Р. Гарсия, И. Лаори // *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 2023. — Т. 13, № 2–3. — С. 561–578. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13349-022-00655-4>

9. Влияние технологического процесса производства пенобетона на его пористую структуру / Р. Лукпанов, Д. Дюсембинов, З. Шахмов, Д. Базарбаев, Д. Цыгулёв, С. Енкебаев // *Magazine of Civil Engineering*, 2022. — Т. 115, № 7. DOI: <https://doi.org/10.34910/MCE.115.13>

10. Самоуплотняющийся бетон с тонкодисперсными добавками и суперпластификатором / Д.С. Дюсембинов, Т. Аввад, Ю.Й. Сабитов, А.А. Жумагулова, Ж.А. Шахмов, Ж. Калиева, Д.О. Базарбаев // *Magazine of Civil Engineering*, 2023. — Т. 123, № 7. DOI: <https://doi.org/10.34910/MCE.123.6>

Сведения об авторах (на трех языках):

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

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

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

Салтанат Ашимова – КаздорҒЗИ қызметкері, Астана, Қазақстан. Электрондық пошта: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Салтанат Ашимова – сотрудник КаздорНИИ, Астана, Казахстан. Электронная почта: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Saltanat Ashimova – employee of KazDorNII, Astana, Kazakhstan. Email: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Құрманғазы Тілеу – КаздорҒЗИ қызметкері, Астана, Қазақстан. Электрондық пошта: k.tileu@qazjolgzi.kz

Құрманғазы Тілеу – сотрудник КаздорНИИ, Астана, Казахстан. Электронная почта: k.tileu@qazjolgzi.kz

Kurmangazy Tileu – employee of KazDorNII, Astana, Kazakhstan. Email: k.tileu@qazjolgzi.kz

Әсемгүл Ниғметова – КаздорҒЗИ қызметкері, Астана, Қазақстан. Электрондық пошта: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Әсемгүл Ниғметова – сотрудник КаздорНИИ, Астана, Казахстан. Электронная почта: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Assemgul Nigmatova – employee of KazDorNII, Astana, Kazakhstan. Email: a.nigmatova@qazjolgzi.kz

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Асемгуль Айкенова - сбор данных, моделирование, интерпретация

Салтанат Ашимова - концепция, методология, анализ, визуализация, редактирование

Құрманғазы Тілеу - тестирование, ресурсы, подготовка текста

Әсемгүл Нигметова - методология, интерпретация, визуализация

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): Авторы не использовали искусственный интеллект при подготовке данной работы.

БЕТОН ЖОЛДЫ КЕҢЕЙТУ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ТАЛДАУ

Асемгүль Айкенова¹, Салтанат Ашимова^{1*}, Құрманғазы Тілеу¹, Әсемгүл Нигметова¹

¹«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ

*Корреспондент автор: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Аннотация. Мақалада бетонды жолдардың пайдалану сипаттамаларына климаттық жағдайлардың әсері талданады, оларды пайдалану кезінде пайда болатын температуралық деформацияларға ерекше назар аударылады. Бетон жолдардың беріктігі мен жүк көтергіштігі жағынан айқын артықшылығы бар, бірақ температураның маусымдық ауытқуынан туындаған бетонның термиялық кеңеюі мен жиырылуы жол төсемінің физикалық-механикалық қасиеттерін төмендететін жарықтар мен ақаулардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Мақалада әртүрлі учаскелерден алынған бетон үлгілері зерттелген Шымкент-Түркістан тас жолында жүргізілген кешенді зерттеудің фрагменті берілген. Әдістеме үлгілердің геометриялық өлшемдерін, тығыздығын және температуралық деформацияларын өлшеуді қамтиды. Жолдың үш учаскесіндегі үлгілердің орташа тығыздық мәндері сәйкесінше 2,27 г/см³, 2,35 г/см³ және 1, 2 және 3 учаскелері үшін 2,42 г/см³ болды. Барлық үш аймақтағы төмен вариациялық коэффициенттер біртектілігі бойынша бетонның жоғары сапасын және оның термиялық кеңею мен жиырылуын одан әрі зерттеуге жарамдылығын сипаттайды. Үш жерден алынған бетон үлгілерінің термиялық талдауының алынған мәндері негізінде материалдың тығыздығымен термиялық кеңею мен шөгу арасындағы корреляция анықталды. Жылулық кеңеюдің ұлғаюы шамалы: тығыздықтың 3,4%-ға артуы кезінде термиялық кеңею 0,7%-ға артады. Тығыздықтың 6,6%-ға артуымен термиялық кеңею 3,7%-ды құрайды. Тығыздықтың 3,4% ұлғаюымен термиялық жиырылуының ұлғаюы 0,7% құрайды. Тығыздықтың 6,6%-ға артуымен термиялық кеңею 3,2%-ды құрайды. Зерттеу нәтижелері жергілікті климаттық жағдайлардың ерекшеліктерін ескере отырып, бетонды жолдарды жобалау мен пайдалануды жақсартуға ықпал етеді.

Түйінді сөздер: бетон жолдары, жылулық деформациялар, климаттық жағдайлар, термиялық кеңею, термиялық жиырылуы, бетонның тығыздығы, жол бетіндегі жарықтар, тығыздықты өлшеу, температуралық ауытқулар, термиялық сынау, геометриялық өлшемдер, компенсаторлар

TEMPERATURE ANALYSIS OF CONCRETE ROAD EXPANSION

Assemgul Aikenova¹, Saltanat Ashimova^{1*}, Kurmangazy Tileu¹, Assemgul Nigmatova¹

¹«Kazakhstan Road Research Institute» JSC

*Corresponding author: s.ashimova@qazjolgzi.kz

Abstract. This article is dedicated to analyzing the impact of climatic conditions on the operational characteristics of concrete roads, with a focus on thermal deformations that occur during their use. Concrete roads have clear advantages in terms of durability and load capacity; however, the thermal expansion and contraction of concrete, caused by seasonal temperature

fluctuations, can lead to the formation of cracks and defects that reduce the physical and mechanical properties of the road surface. The article presents a portion of a comprehensive study conducted on the "Shymkent-Turkestan" highway, where concrete samples from various locations were analyzed. The methodology included measuring the geometric dimensions, density, and thermal deformations of the samples. The average density values of the samples from the three road sections were 2.27 g/cm³, 2.35 g/cm³, and 2.42 g/cm³ for locations 1, 2, and 3, respectively. Low coefficients of variation in all three locations characterize the high quality of the concrete in terms of homogeneity and its suitability for further investigation of thermal expansion and contraction. Based on the obtained values of the thermal analysis of concrete samples from the three locations, a correlation between thermal expansion and contraction with the material density was established. The increase in thermal expansion is negligible, with an increase in density of 3.4%, the thermal expansion increases by 0.7%. With a density increase of 6.6%, the thermal expansion is 3.7%. The increase in thermal contraction with a density increase of 3.4% is 0.7%. With a density increase of 6.6%, the thermal contraction is 3.2%. The study's results will help improve the design and operation of concrete roads, taking into account the specifics of local climatic conditions.

Keywords: concrete roads, thermal deformations, climatic conditions, thermal expansion, thermal contraction, concrete density, road surface cracks, density measurements, temperature fluctuations, thermal testing, geometric dimensions, expansion joints.



Copyright: © 2024 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/>).