



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 блокс-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 жанау 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

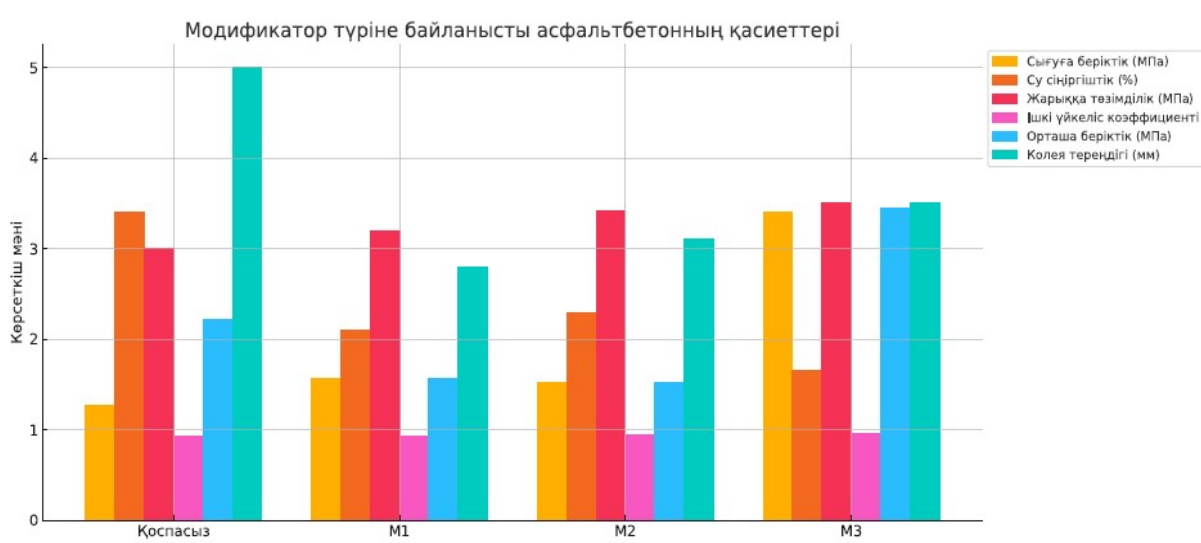
Компонент		Атауы
Битум		БНД 100/130
Түрлендіргіш	1 (M1)	Полимерлі блоқты полимер
Түрлендіргіш	2 (M2)	ПББ құрамындағы полибутил каучук
Түрлендіргіш	3 (M3)	Түрлендірілген резеңке ұнтағы
Қиыршық тас		Гранитті, фр. 5-20 мм

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

Сынамаларды дайындау модификаторларды асфальтбетон қоспасына 180 ± 5 °C 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

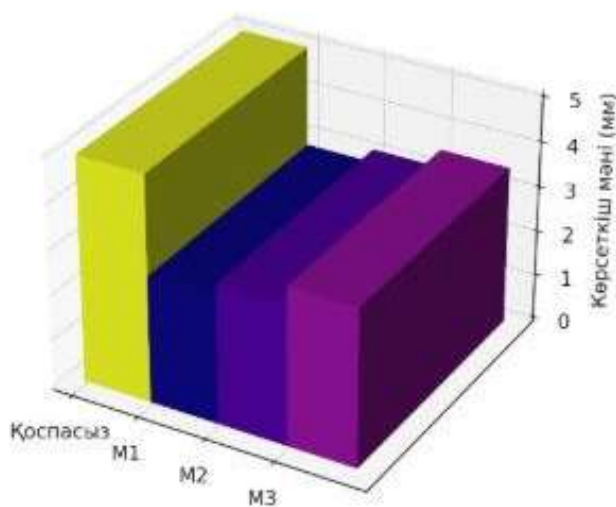
Кесте 1 – Асфальтбетон үлгілерінің негізгі физика-механикалық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Қоспасыз	M1 (блоқты полимер)	M2 (ПБВ) (полибутилкаучук)	M3 (резенке ұнтағы)
20 °C-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
Колея 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.kazakstan@mail.ru.

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

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

Қожахмет Ару – магистр, ТОО «НТС-Қазақстан», 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-Казахстан» (Астана, Казахстан)

²АО «КаздорНИИ» (Астана, Казахстан)

*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/>).