

ӨЖ 665.775; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-6.16>

<https://orcid.org/0000-0002-9847-8218>

<https://orcid.org/0000-0001-8228-7188>

<https://orcid.org/0000-0003-3564-8846>

<https://orcid.org/0000-0001-8486-8744>

МҰНАЙ БИТУМДАРЫН РЕЗЕҢКЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУДЫ ЗЕРТТЕУ



А.Ш. АККЕНЖЕЕВА,
техника ғылымдарының
кандидаты,
«Жаратылыстану ғылымдары»
кафедрасының доценті,
anar.akkenzheeva@yu.edu.kz



А.Ч. БУСУРМАНОВА,
химия ғылымдарының
кандидаты,
«Жаратылыстану ғылымдары»
кафедрасының доценті,
akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz



Р.Д. МУХАШЕВА,
химия ғылымдарының
кандидаты, «Жаратылыстану
ғылымдары» кафедрасының
доценті,
raikhan.mukhasheva@yu.edu.kz



У.К. ЕНСЕГЕНОВА,
магистр, «Жаратылыстану
ғылымдары» кафедрасының
аға оқытушысы,
uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

Ш.ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ «КАСПИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қаласы, 32 шағынаудан

Әр түрлі елдердің ғылыми зерттеулеріне сәйкес, өңдеу процесінде резеңке-техникалық қалдықтардан алынған резеңке түйіршіктер асфальт қоспасының қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді, осылайша жол төсемінің қызмет ету мерзімін ұзартады. Бұл жұмыста резеңке қалдықтарымен битумның модификациясы ұсынылған. Битумды модификациялау жолдарға арналған ең қолайлы және танымал тәсілдердің бірі болып саналады. Бұл зерттеу жұмысы битум модификаторлары ретінде әртүрлі типтегі резеңке түйіршіктерді пайдалану туралы мәліметтерді сипаттайды. Модификацияланған битумның негізгі физика-механикалық сипаттамалары әдеттегі сынақтардан, пенетрация мен икемділіктен, жұмсару температурасынан, Фраас бойынша сынғыштық температурасынан кейін анықталды. Жақсартылған пайдалану сипаттамалары бар резеңке-асфальтбетон қоспасын алу мақсатында резеңке битумды байланыстырғыштардың тұтқыр серпімді және реологиялық қасиеттері және оларды полимерлі битумды байланыстырғыштармен салыстыру зерттелді. Зерттеу нәтижелері температураның жоғарылауымен барлық зерттелген битумдық жүйелердің тұтқырлық, ығысу кернеуі және ығысу модулінің мәндері төмендейтінін және фазалық ығысу бұрышының мәндері жоғарылайтынын көрсетеді және битум жүйелерінің қасиеттеріне резеңкенің химиялық құрамы емес, оның бөлшектерінің өлшемдері көбірек әсер ететінін көрсетеді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: мұнай битумы, модификация, физикалық-механикалық сипаттамалары, резеңке түйіршіктері, реологиялық қасиеттері.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ

А.Ш. АККЕНЖЕЕВА, кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественные науки»,
anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

А.Ч. БУСУРМАНОВА, кандидат химических наук, доцент кафедры «Естественные науки»,
akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz

Р.Д. МУХАШЕВА, кандидат химических наук, доцент кафедры «Естественные науки»,
raikhan.mukhasheva@yu.edu.kz

У.К. ЕНСЕГЕНОВА, магистр, старший преподаватель кафедры «Естественные науки»,
uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

НАО «КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ
И ИНЖИНИРИНГА ИМ. Ш. ЕСЕНОВА»
Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр

По данным научных исследований разных стран, резиновые гранулы, полученные из резинотехнических отходов в процессе переработки, позволяют улучшить свойства асфальтовой смеси, тем самым продлевая срок службы дорожного покрытия. В данной работе представлена модификация битума резинотехническими отходами. Модификация битума для дорог считается одним из наиболее подходящих и популярных подходов. В этой исследовательской работе описываются детали использования резиновых гранул различного типа в качестве модификаторов битума. Основные физико-механические характеристики модифицированного битума были определены после обычных испытаний, пенетрации и пластичности, температуры размягчения, температуры хрупкости по Фраасу. В целях получения резино-асфальтобетонной смеси с улучшенными эксплуатационными характеристиками также исследованы вязкоупругие и реологические свойства резинобитумных вяжущих и их сравнение с полимернобитумными вяжущими.

Результаты исследований показывают, что с повышением температуры значения вязкости, напряжения сдвига и комплексного модуля сдвига всех исследованных битумных систем уменьшаются, а значения угла фазового сдвига увеличиваются, и что большее влияние на свойства битумных систем оказывает не химический состав резины, а размеры частиц резины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтяной битум, модификация, физико-механические характеристики, резиновые гранулы, реологические свойства.

INVESTIGATION OF MODIFICATION OF PETROLEUM BITUMEN BY RUBBER WASTE

A.Sh. AKKENZHEYEVA, candidate of technical sciences, associate professor of the department of «Natural Sciences», anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

A.Ch. BUSSURMANOVA, candidate of chemical sciences, associate professor of the department of «Natural Sciences», akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz

R.D. MUKHASHEVA, candidate of chemical sciences, associate professor of the department of «Natural Sciences», raikhan.mukhasheva@yu.edu.kz

U.K. YENSEGENOVA, master, senior lecturer of the department of «Natural Sciences», uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

NCJSC "CASPIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING"
NAMED AFTER SH. ESENOVA",
Republic of Kazakhstan, 130000, Aktau, 32 microdistrict

According to scientific research in different countries, rubber granules obtained from rubber waste during recycling can improve the properties of the asphalt mixture, thereby extending the service life of the road surface. This paper presents the modification of bitumen with industrial rubber waste. Modification of bitumen for roads is considered one of the most suitable and popular approaches. This research paper describes the details of using different types of rubber granules as bitumen modifiers. The main physical and mechanical characteristics of the modified bitumen were determined after conventional tests, penetration and ductility, softening point, Fraas brittleness point. In order to obtain a rubber-asphalt concrete mixture with improved performance characteristics, the viscoelastic and rheological properties of rubber-bitumen binders and their comparison with polymer-bitumen binders were also studied. The research results show that with increasing temperature, the values of viscosity, shear stress and complex shear modulus of all studied bitumen systems decrease, and the values of the phase shift angle increase, and that the size of the rubber particles has a greater influence on the properties of bitumen systems.

KEYWORDS: petroleum bitumen, modification, physical and mechanical characteristics, rubber granules, rheological properties.

Қіріспе. Резеңке-техникалық қалдықтары – бұл тұтыну тауарларын өндіру процесінде, шина өнеркәсібінде көп мөлшерде пайда болатын қалдықтар. 2019 жылы тек Еуропада 324 миллион шина сатылды [1, 2]. Қазірдің өзінде шамамен бірдей шиналар саны жылына пайдаланылған мәртебеге ие болады деп болжауға болады. Сонымен қатар, мұндай шиналардың едәуір бөлігі қазірдің өзінде қоймалар мен полигондарда орналасқан, бірақ бұл әр елде әр түрлі болады. Қазақстанда да резеңке-техникалық қалдықтардың едәуір мөлшері түзіледі. Резеңке қалдықтары, ағаш қалдықтары, өсімдік қалдықтары, тамақ өнеркәсібінің қалдықтары сияқты кейбір басқа қалдықтардан айырмашылығы, іс жүзінде биологиялық ыдырауға ұшырамайды, сондықтан оларды жою керек. Полигондар мен қоймалардағы

пайдаланылған шиналар қоршаған ортаға улы химикаттарды шығарумен танымал. Бұл шиналарды қайта өңдеу барлық дамыған елдерде үлкен экологиялық және экономикалық проблема болып табылады. Сонымен қатар, оларды жағу ауаға улы түтін шығарады, бұл ауа сапасының нашарлауына әкеледі.

Пайдаланылған шиналар – тек қатты қалдықтар деген пікір өзгерді және қазір әртүрлі тәсілдермен және әртүрлі салаларда кеңінен қайта пайдалануға болатын материал болып саналады [3]. Мәселені шешу үшін әлемде пайдаланылған шиналардың едәуір бөлігі энергия өндіру, регенерация үшін қолданылады (мысалы, цемент зауыттарында), бірақ құнды материалдың әлеуеті толығымен пайдаланылмайды. 2017 жылы пайдаланылған шиналардың 35% Еуропада энергия өндіру үшін пайдаланылды [4]. Пайдаланылған шиналарды қолданудың анағұрлым перспективалы тәсілі – олардан битумның және асфальтбетон қоспалардың қасиеттерін жақсарту үшін модификатор сияқты әртүрлі мақсаттарда қолдануға болатын ұсақталған резеңке түйіршіктерді (РТ) алу. Жол төсемдерінде пайдаланылған шиналардан жасалған резеңке түйіршіктерді пайдалану бойынша зерттеулерді өткен ғасырдың 60-жылдарынан бастап табуға болады. Тозған автомобиль шиналарын қайта өңдеуден резеңке үгіндісі негізінде оған модификаторды енгізу арқылы битум байланыстырғыштардың пайдалану қасиеттерін реттеуді жүргізу қазіргі уақытта битумдарды модификациялаудың ең перспективалы және табысты дамып келе жатқан бағыты болып табылады. Әр түрлі елдердің ғылыми зерттеулеріне сәйкес, қайта өңдеу процесінде пайдаланылған шиналардан алынған резеңке түйіршіктер асфальт қоспасының қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді, осылайша жол төсемінің қызмет ету мерзімін ұзартады [5-10].

Резеңке түйіршіктерді асфальтбетон қоспасына енгізудің ең танымал екі әдісі – ылғал әдіс және құрғақ әдіс. Ылғал процесс – битумды резеңкемен модификациялау, ал құрғақ процесс – резеңке бөлшектері құм бөлшектері сияқты аз мөлшерде толтырғышты ауыстырудың негізгі мақсаты бар асфальтбетон қоспасына тікелей қосылатын әдіс. Бүгінгі таңда екі әдістің де мақсаты – жақсартылған сипаттамалары бар асфальтбетон алу. Алайда, ылғал процесс перспективалы болып көрінеді, өйткені онда битум мен каучуктың өзара әрекеттесуі тікелей және қарқынды [10-12]. Дегенмен, кейбір зерттеушілер екі әдіспен де ұқсас өнімділік сипаттамаларын алуға болады деп мәлімдейді [13-15].

Резеңке түйіршіктер мен битум арасындағы реакция жылдамдығына негізінен температура мен араластыру уақыты әсер етеді [16], сондықтан оны осы және басқа процесс айнымалыларын бақылау арқылы оңтайландыруға болады [17-20]. Жақсартылған өнімділігі бар резеңке-асфальтбетон қоспасын алу үшін айналу тұтқырлығы пайдалану тұрғысынан модификация процесінде оңай басқарылатын физикалық параметр болып табылады. Шын мәнінде, каучуктың белгілі бір температурада битуммен әрекеттесуі қоспаның тұтқырлығының максималды мәнге дейін жоғарылауын және реакция уақытымен кейіннен айтарлықтай төмендеуін білдіреді [21]. Осылайша, құрғақ процесті жүргізу оңайырақ, ал ылғал процесс неғұрлым күрделі болса да, алынған байланыстырғыштың реологиялық қасиеттерін дәл реттеуге мүмкіндік беретін артықшылыққа ие.

Тәжірибе температурасына байланысты модификацияланған битумды 1) оны өндіру кезінде; 2) асфальтбетонды өндіру кезінде әртүрлі мөлшердегі бөлшек-

тердің минералдарымен және басқа қоспаларымен араласқанда; 3) жабынды төсеу кезінде және 4) жабынның бүкіл қызмет ету мерзімі бойынша өнімділігі бойынша тұтқыр серпімді немесе реологиялық қасиеттері сипаттайды. Резеңке битумды байланыстырғыштың тұтқыр серпімді немесе реологиялық қасиеттерін бағалау жол төсемінің жобалық қызмет ету мерзімін және икемді жол төсемдерін төсеу үшін резеңке үгіндісі пайдаланылған кезде оны ұзартуды бағалау үшін маңызды болып табылады [13]. Бұл зерттеу жұмысында резеңке битумды байланыстырғыштардың тұтқыр серпімді және реологиялық қасиеттері және оларды полимерлі битумды байланыстырғыштармен салыстыру зерттелген.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Осы зерттеуде модификацияланған битумды дайындау үшін БНД 70/100 маркалы битум қолданылды. БНД 70/100 маркалы мұнай жол битумының сипаттамасы *1-кестеде* келтірілген.

1 кесте – БНД 70/100 маркалы мұнай жол тұтқыр битумының сипаттамасы

Көрсеткіштің атауы	БНД 70/100	Нақты мәні	Сынақ әдісі
Пенетрация, 25 °С температурада төмен емес, мм	87±5	87,2	EN 1426:2015
Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, °С төмен емес	45,8±1,6	45,85	EN 1427:2015
Фраас бойынша сынғыштық температурасы °С, жоғары емес	- 21±3	- 21	EN 12593:2015
Ерігіштігі %, кем емес	99,75 ±0,1	99,75	EN 12592:2015
Тұтану температурасы °С, төмен емес	334 ±4	335	EN 2592:2006

Битумды модификациялау үшін бөлшектердің әртүрлі өлшемдері (2,0-2,5 мм және 2,5-3,5 мм) және шығу тегі (А100 – автомобиль шиналарынан алынған резеңке, ЖШ100 – жүк шиналарынан) бар резеңке түйіршіктердің түрлері қолданылды. Жеңіл және жүк көліктерінің шиналарының резеңкесінің химиялық құрамы әртүрлі, өйткені жүк шиналарының резеңкесінде бутадиең-стирол резеңкесіне негізделген жеңіл автомобиль шиналарының резеңкесіне қарағанда табиғи резеңке көп. Резеңке түйіршіктермен өзгертілген битумның тұтқыр серпімді қасиеттеріне резеңкенің әртүрлі химиялық құрамының әсерін бағалау үшін битумға әртүрлі шығу тегі бар қайта өңделген автомобиль шиналарының резеңке түйіршіктері енгізілді.

Полимерлі битумды байланыстырғыштарды дайындау кезінде модификатор ретінде полимер битумды байланыстырғыштардың қатпарлануын болдырмау үшін дайын жоғары серпімді СБС-01-10 полимери (стирол-бутадиең-стирол) қолданылды. Бұл модификаторды битумға енгізген кезде полимер-битум қоспасы төмен температурада жұмсақ және икемді болады, ал жоғары температурада тұтқыр болады. Тиісінше, модификацияланған битумның адгезиясы артады. СБС полимерінің қасиеттері *2-кестеде* келтірілген.

Бұл зерттеуде резеңке түйіршіктермен (0,8 – 3,5 мм) модификацияланған битумның (МБ) рецептурасын әзірлеу зертханалық жағдайда «ылғал» әдіспен жүргізілді. Модификацияланған битум келесідей дайындалды: бастапқыда битум зертханалық пеште 140°С дейін қыздырылды, содан кейін балқытылған битум ыдысы силикон майы бар ваннаға орналастырылды және температура 170°С-қа жеткенде, резеңке түйірлері біртіндеп қосылып, шамамен бір сағат бойы 190°С температурада және

2 кесте – СБС полимерінің қасиеттері

Көрсеткіштің атауы	СБС-01-10
Құрылымы	Сызықтық
Байланысты стирол, %	30
Шор бойынша қаттылық	80
Ұшпа зат, %	0,8
Күл, %	0,3
Үлес салмағы	0,95
Созылу беріктігінің шегі, МПа	21
Балқыманың өтімділік индексі, 200 °С / 5 кгс	1

6000-7000 айн/мин жылдамдықта үлкен ығысу күші бар зертханалық араластырғыш көмегімен араластырылды.

БНД 70/100 базалық битум мен модификацияланған битумының физикалық қасиеттері иненің енуі (EN 1246), жұмсару температурасы (EN 1427), серпімді қалпына келу (EN 13398), Фраас бойынша сынғыштық температурасы (EN 12593) сияқты әдеттегі сынақтармен тексерілді.

Тұтқыр серпімді қасиеттердің сипаттамасы EN 14770, AASHTO TP 70 және ASTM D7405 сияқты халықаралық салалық стандарттарға сәйкес жүргізілді. EN 14770 стандартына сәйкес сынау процедурасы битум белгілі бір шекті мәнге жететін критикалық температураны анықтау мақсатында 6 °С қадаммен біртіндеп өсетін әртүрлі температураларда битумның тұтқыр серпімді қасиеттерін (соның ішінде G* – ығысу модулі мен δ – фазалық ығысу бұрышын) анықтауды қамтиды.

Зерттеу нәтижесі. Битумды байланыстырғышты резеңке түйіршіктермен модификациялау процесінде олар модификация кезінде айтарлықтай ісінетіні (резеңке түйіршіктерді битумның негізгі компоненті мальтендермен қанықтыру нәтижесінде) анықталды. Бұл битумды өндеудің қарапайымдылығын (жұмыс қабілеттілігін) айтарлықтай нашарлатады, модификацияланған битумның қиыршық таспен жақсы араласу қабілеті, сонымен қатар жоғары тұтқырлыққа байланысты өндіріс кезінде айдауды қиындатады. Бұл әсер әсіресе шығу тегі әртүрлі (2,5 – 3,5 мм) резеңкенің үлкен фракцияларының битумына енгізілген кезде айқын көрінді. Сондықтан, резеңке түйіршіктеріне күрделі химиялық модификация жасамау үшін, оны резеңке түйіршіктермен модификацияланған 6-7 тонна битум өндіру үшін нақты өндіріске ауыстыру мүмкін емес болғандықтан, осы зерттеу шеңберінде кішігірім фракция қолданылады. 2,0 – 2,5 мм резеңке түйіршік таңдалды. Екінші жағынан, резеңке бөлшектерінің мөлшерін азайту битумның қасиеттеріне қалай әсер ететінін анықтау үшін резеңке бөлшектерінің өлшемдері одан да кіші (0,8 мм) резеңке түйіршіктермен өзгертілген битум композициялары алынды және параллель зерттелді. Мұндай мөлшердегі резеңке бөлшектерін ұнтақтау процесін жетілдіру арқылы алуға болады. Резеңке түйіршіктер санының реологиялық қасиеттеріне және битумды байланыстырғыштың өндеудің қарапайымдылығына (жұмыс қабілеттілігіне) әсерін анықтау үшін резеңке түйіршіктердің концентрациясы 15-тен 25%-ға дейін композициялар жасалды. Жалпы, қайта өндеу тұрғысынан битумға барынша көп қалдықтарды қосу тартымды, бұл кәдеге жаратудың жоғары дәрежесін қамтамасыз етеді. Алайда, ре-

зеңке бөлшектердің концентрациясының жоғарылауымен жүйенің ыңғайлылығы төмендейтінін ескере отырып, болжамды энергия шығындары және осылайша технологиялық процестің алдын-ала шығындары артады, битумдағы резеңке түйіршіктердің ең аз концентрациясы 15% бар композициялар үшін қасиеттерді егжей-тегжейлі зерттеу жүргізілді.

Резеңке түйіршіктерді алдын-ала өңдеу шарттарын өзгерту арқылы зертханалық жағдайда резеңке түйіршіктермен модификацияланған битум өндірісінің ең қолайлы технологиясы жасалды – алдын ала ісіну, араластыру жылдамдығының профилі (3000 – 8000 айн/мин), өңдеу температурасы (180-200 °С) және өңдеу уақыты (0,5-5 сағ). Зертханалық жағдайларда қолайлы технологиялық режим мынадай екені анықталды: 1) араластыру температурасы – ~ 200 °С; 2) жоғары қарқындылықтағы араластырғышпен араластыру жылдамдығының диапазоны-6000-7000 айн / мин; 3) өңдеу уақыты-1-2 сағат (ісінусіз).

Резеңке түйіршіктермен модификацияланған битум жүйелерінің пайдалану сипаттамалары модификацияланбаған битумдармен, сондай-ақ 4% коммерциялық стирол-бутадиен-стирол термопластикалық эластомер (СБС) қоспаларымен модификацияланған битум жүйесінің пайдалану сипаттамаларымен салыстырылды.

3-кестеде бастапқы битумның, СБС модификацияланған битумның, сондай-ақ резеңке қоспалармен өзгертілген битумның маңызды қасиеттері келтірілген.

3 кесте – Битумды сынау нәтижелері

№	Битум	Пенетрация, мм ⁻¹	Үлгінің сынғыштық температурасы, °С	Жұмсару температурасы, °С	Икемділік, %	DSR сынақтары, G*/sinδ 60°С-да, кПа	DSR-тест, T _{крит.} G*/sinδ = 1 кПа-да, °С
1.	B70/100 (баст.)	87,0	-21	45,8		2,4	66
2.	B70/100 + SBS 2,5%	62,0	-20	60,0	60	-	-
3.	B70/100 + SBS 4%	50,4	-17	66,3	88	6,8	80
4.	B70/100 + 15% PT	54,6	-22	66,8	> 70	8	89
5.	B70/100 + 15% SR100	49,4	-23	70,0		14,4	94
5.	B70/100 + 15% SR50/VR50	47,6	-22	69,2		12	91
6.	B70/100 + 15% VR100	52,3	-21	65,9		13,2	90
Мақсатты мән		45 – 80	≤ -15 °С	≥ 55 °С	≥ 50%	≥ 1 кПа	

Резеңке үгіндісімен модификацияланған битум үлгісі үшін иненің орташа ену тереңдігі бойынша алынған нәтижелер полимермен модификацияланған битум үшін белгіленген талаптарға 45 – 80 мм-1 сәйкес келеді. Жұмсару температурасы жоғары жұмыс температурасында битумның қасиеттерін анықтайды (әдіс жанама түрде жолтабан пайда болуына төзімділікті сипаттайды). Алынған нәтижелер талаптарға сәйкес келеді: ≥ 55 °С. Модификацияланбаған битум орташа және жоғары жұмыс температурасында өте төмен серпімділік қасиеттеріне (серпімді немесе қайтымды деформация) ие. Жоғары жұмыс температурасында битумның серпімді қасиеттерін жақсарту битум жабындарының (асфальтбетонның) шытынауға төзімділігін арттырады, ал төмен температурада (қаттылықтың төмендеуі) шытынауға төзімділікті арттырады. Нәтижелер битумға резеңке түйіршіктерді қосу оның серпімділігін айтарлықтай арттырып, серпімді қалпына келтіруге $>70\%$ жетегінін көрсетеді, бұл стандартта реттелген $>50\%$ көрсеткішіне сәйкес келеді. Жұмсару температурасы битумның тұтқырлығының жоғарғы шегін, ал Фраастың сынғыштық температурасы тұтқырлықтың төменгі шегін көрсетеді (битумның төмен температурада деформациялану, содан кейін бастапқы күйіне оралу қабілеті). Серпімділік – бұл лезде қайтымды деформация, тұтқыр серпімді деформация да қайтымды, тек кідіріспен қайтарылады (кідіріс уақыты – тұтқырлықтың маңызды параметрі – материалдың бастапқы пішініне оралуына дейінгі кідіріс ұзақтығы). Алынған нәтижелер битумға резеңке түйіршіктерді қосу Фраас сынғыштық температурасын төмендетпейтінін және кейбір жағдайларда 1-2 °С-қа дейін тіпті жақсартатынын көрсетеді, бұл ≤ -15 °С мақсатты класына сәйкес келеді, сонымен бірге өңдеуге ыңғайлылығын арттыру үшін жылы асфальтбетонға 0,5% қоспа қосу кезінде Фраас сынғыштық температурасының көрсеткіші -31 °С-қа жетеді.

Резеңке-модификацияланған битум жүйелерінің тұтқыр серпімді қасиеттері (ығысу модульмен, қор модулімен, жоғалту модулімен, тұтқырлықпен, ығысу кернеулерімен және деформацияларымен және ығысу фазалық бұрышымен сипатталады) әртүрлі ығысу жағдайларында +46-дан +94 °С-қа дейінгі температура диапазонында сыналды. Битум композицияларының қасиеттері жол-күрылыс саласында кеңінен қолданылатын БНД 70/100 типті бастапқы битумның қасиеттерімен, сондай-ақ стирол-бутадиен-стирол сополимерінен (СБС) полимер-модификацияланған битумның қасиеттерімен салыстырылды. Алынған мәліметтер битумдық жүйелердің қаттылығын, сондай-ақ жарықтардың пайда болуының тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Өз кезегінде, AASHTO TP 70 және ASTM D7405 сынақ процедурасы битум жүйелерін белгіленген температурада сынауды, оларды циклдік тиеуге және түсіруге ұшыратуды қамтиды. Алынған мәліметтер бойынша битумдық жүйелердің серпімді қасиеттерін (серпімді қалпына келтіру), сондай-ақ термиялық төзімділікті (оның ішінде жолтабан пайда болуына төзімділікті) бағалауға болады.

Көрсетілген стандарттар бойынша битум жүйелерінің тұтқыр серпімді қасиеттерін анықтау Anton Paag динамикалық ығысу реометрін қолдану арқылы жүргізілді. Тұтқыр серпімді қасиеттерді сынау тиісті стандарттарда көзделген ығысу жағдайында (тербеліс жиілігі, ығысу кернеуі, ығысу деформациясы) және +94 °С дейін жетегін әртүрлі температурада жүргізілді.

4 және 5 кестеде битумды байланыстырғыштардың температура мен уақытқа байланысты G^* ығысу модулінің және δ фазалық ығысу бұрышының көрсеткіштері

4 кесте – Модификацияланбаган және модификацияланған БНД70/100 битумының Ығысу модулінің температураға және уақытқа тәуелділігі

Уақыт, сек	Модификацияланбаған битум В70/100						СБС (4%) модификацияланған битум В70/100						РТ (15%) модификацияланған битум В70/100						ЖШ100 (15%) модификацияланған битум В70/100						А100 (15%) модификацияланған битум В70/100																							
	Температура												Температура												Температура												Температура											
	46	52	58	64	70	76	82	88	94	70	76	82	88	94	64	70	76	82	88	94	64	70	76	82	88	94	76	82	88	94	76	82	88	94														
10	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,8	2,8	1,8	1,2	0,8	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
20	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,6	2,7	1,8	1,1	0,8	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
30	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,5	2,7	1,8	1,1	0,7	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
40	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,4	2,7	1,7	1	0,7	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
50	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,2	2,7	1,7	1	0,7	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
60	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	4,0	2,7	1,6	1	0,7	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
70	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,9	2,6	1,6	1	0,7	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
80	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,9	2,6	1,6	0,95	0,69	10	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
90	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,8	2,6	1,5	0,95	0,69	9	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
100	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,7	2,6	1,5	0,95	0,67	9	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
110	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,6	1,5	0,95	0,67	9	6	3,9	2,5	1,5	0,99	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
120	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,6	1,4	0,95	0,65	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
130	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,5	1,4	0,9	0,65	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
140	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,5	1,4	0,9	0,64	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
150	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,5	1,3	0,9	0,64	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
160	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,5	1,3	0,9	0,62	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
170	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,6	2,5	1,3	0,9	0,62	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
180	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,5	2,4	1,2	0,9	0,6	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
190	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,5	2,4	1,2	0,85	0,6	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
200	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,5	2,4	1,1	0,85	0,6	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																
210	20	16,5	12	10,5	0,7	4,5	2,5	1,5	0,85	3,5	2,4	1,1	0,85	0,6	9	5,9	3,8	2,4	1,4	0,98	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75	3,2	2	1,1	0,75																

5 кесте – Модификацияланбаган және модификацияланған В70/100 битумының фазасының ығысу бұрышының 8 температурға және уақытқа тәуелділігі

Уақыт, сек	Модификацияланбаған битум В70/100					СБС (4%) модификацияланған битум В70/100					РТ (15%) модификацияланған битум В70/100					ЖШ100 (15%) модификацияланған битум В70/100					А100 (15%) модификацияланған битум В70/100						
	46	52	58	64	70	64	70	76	82	88	70	76	82	88	94	64	70	76	82	88	76	82	88	94	76	82	88
10	77,5	80	82,5	84	86	69	71	72	72,5	72,5	60,5	62,5	64,8	67,3	69,8	55	57,5	60,5	64,5	68,5	72	63	68	72	75		
20	77,5	80	82,5	84	86	69	71	72	72,5	72,5	61,5	63,2	65,1	67,8	70,2	55,1	57,6	60,6	64,6	68,6	72,1	63,5	68,3	72,1	75,1		
30	77,5	80	82,5	84	86	69,1	71,1	72	72,5	72,5	61,8	63,5	65,8	68	70,3	55,2	57,7	60,7	64,7	68,7	72,2	64	68,6	72,1	75,1		
40	77,5	80	82,5	84	86	69,1	71,1	72,1	72,6	72,6	62	64	65,9	68,2	70,4	55,3	57,8	60,8	64,8	68,8	72,3	64,5	68,9	72,2	75,2		
50	77,5	80	82,5	84	86	69,1	71,1	72,1	72,6	72,6	62,3	64,3	66	68,4	70,5	55,4	57,9	60,9	64,9	68,9	72,4	64,6	68,9	72,2	75,2		
60	77,5	80	82,5	84	86	69,2	71,2	72,2	72,6	72,6	62,5	64,5	66,1	68,5	70,6	55,5	58	61	65	69	72,5	64,7	69	72,3	75,3		
70	77,5	80	82,5	84	86	69,2	71,2	72,2	72,7	72,7	62,6	64,8	66,2	68,5	70,6	55,6	58,1	61,1	65,1	69,1	72,6	64,8	69	72,3	75,3		
80	77,5	80	82,5	84	86	69,2	71,2	72,2	72,7	72,7	62,6	64,8	66,3	68,6	70,7	55,7	58,2	61,2	65,2	69,2	72,7	64,9	69	72,3	75,3		
90	77,5	80	82,5	84	86	69,3	71,3	72,3	72,7	72,7	62,7	64,9	66,5	68,7	70,7	55,8	58,3	61,3	65,3	69,3	72,8	65	69	72,4	75,4		
100	77,5	80	82,5	84	86	69,3	71,3	72,3	72,8	72,8	62,8	64,9	66,6	68,8	70,8	55,9	58,4	61,4	65,4	69,4	72,9	65	69,1	72,4	75,4		
110	77,5	80	82,5	84	86	69,3	71,3	72,3	72,8	72,8	62,9	65	66,7	68,9	70,9	56	58,5	61,5	65,5	69,5	73	65	69,1	72,4	75,4		
120	77,5	80	82,5	84	86	69,4	71,4	72,4	72,8	72,8	63	65	66,8	69	71,0	56,1	58,6	61,6	65,6	69,5	73	65	69,1	72,5	75,5		
130	77,5	80	82,5	84	86	69,4	71,4	72,4	72,9	72,9	63,1	65	66,8	69	71,1	56,2	58,7	61,7	65,7	69,5	73	65	69,2	72,5	75,5		
140	77,5	80	82,5	84	86	69,4	71,4	72,4	72,9	72,9	63,1	65,1	66,9	69,1	71,1	56,3	58,8	61,8	65,8	69,5	73	65	69,2	72,5	75,5		
150	77,5	80	82,5	84	86	69,4	71,4	72,4	73	73	63,2	65,1	67	69,1	71,2	56,4	58,9	61,9	65,9	69,5	73	65	69,2	72,5	75,5		
160	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73	73	63,2	65,1	67,1	69,2	71,2	56,5	59	62	66	69,5	73	65	69,3	72,5	75,5		
170	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73,1	73,1	63,3	65,2	67,1	69,2	71,3	56,7	59	62	66	69,5	73	65	69,3	72,5	75,5		
180	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73,1	73,1	63,3	65,2	67,2	69,2	71,3	56,8	59	62	66	69,5	73	65,1	69,3	72,5	75,5		
190	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73,2	73,2	63,4	65,2	67,3	69,3	71,4	56,9	59	62	66	69,5	73	65,1	69,3	72,5	75,5		
200	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73,3	73,3	63,4	65,2	67,4	69,4	71,4	57	59	62	66	69,5	73	65,1	69,3	72,5	75,5		
210	77,5	80	82,5	84	86	69,5	71,5	72,5	73,3	73,3	63,5	65,2	67,5	69,5	71,5	57	59	62	66	69,5	73	65,1	69,3	72,5	75,5		

(модификацияланбаған БНД 70/100, сондай-ақ резеңке түйіршіктер мен СБС-пен модификацияланған) көрсетілген. Температураның жоғарылауымен δ фазалық ығысу бұрышының көрсеткіші де артады (серпімділік төмендейді), бірақ ығысу модулінің көрсеткіштері төмендейді.

Осы кезеңде орындалған тұтқыр серпімді қасиеттерді сынау нәтижелері температураның жоғарылауымен барлық зерттелген битумдық жүйелердің тұтқырлық, ығысу кернеуі және ығысу модулінің мәндері төмендейтінін және фазалық ығысу бұрышының мәндері жоғарылайтынын көрсетеді, бұл жүйедегі жылу қозғалысының жоғарылауымен байланысты. Сондықтан температураның жоғарылауымен битумдық жүйелердің қаттылығы төмендейді және сыртқы жүктемелердің әсеріне сезімталдық артады, бұл жарықтардың пайда болуына әсер етеді. Бірдей температурада битумның тұтқыр серпімді қасиеттерінің көрсеткіштерін бір-бірімен салыстырған кезде, жүйеге СБС енгізілген кезде жүйенің қаттылығы едәуір артады (бұл ығысу модулінің ұлғаюымен көрсетілген) және сәйкесінше битумның аққыштығы төмендейді (бұл фазалық ығысу бұрышының төмендеуімен көрсетілген – жүйе «қатты» болып қалады).

Сонымен қатар, резеңке бөлшектерді енгізу жүйенің қаттылығын одан әрі арттырып, битумды жүйенің сұйықтығын төмендететіні байқалды. Битум жүйелерінің қаттылығына жүк шиналарынан алынған резеңке үгінділердің битумға енгізілуі ең үлкен әсер етеді, ал ұсақ резеңке фракциясының бөлшектерін енгізу салыстырмалы түрде аз әсер етеді. Нәтижелер битумдық жүйелердің қасиеттеріне резеңкенің химиялық құрамы (жеңіл автомобиль шиналары, жүк көлігі шиналары немесе олардың қоспасы) емес, резеңке бөлшектерінің өлшемдері көбірек әсер ететінін көрсетеді. Айта кету керек, резеңке бөлшектердің барлық түрлерін енгізу битумды жүйенің сұйықтығын төмендетеді, сондықтан өңдеу жеңілдігінің төмендеуін жанама түрде бағалауға болады.

Жалпы алғанда, нәтижелер модификациялаушы резеңке қоспаның тиімділігіне негізінен бөлшектердің мөлшері әсер ететінін және резеңке үгінділерінің химиялық құрамы аз әсер ететінін көрсетеді.


Қорытынды. Полимерлермен немесе сапаны жақсартатын басқа қоспалармен өзгертілген битум жылдық орташа тәуліктік трафик ≥ 1501 қозғалыс қарқындылығымен орташа және жоғары жүктемелі жолдарда қолданылуы керек.

Егер байланыстырғыштардың қасиеттері полимерлі модификацияланған битумға ұқсас болса, стандарттар тозған шиналардың резеңке түйіршіктерімен модификацияланған битумды қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өндірушілер көбінесе СБС типті полимерлермен модификацияланған битумды қолдануды ұсынады.

Зерттеу барысында алынған нәтижелер битумға пайдаланылған шиналық резеңке түйіршіктерінің 15 % қосқан кезде ПМБ45/80 55-тен төмен емес полимер-модификацияланған битум классына қол жеткізеді. СБС полимерін қолданған кезде бұл класс құрамында әдетте полимер 2,5-3% болған кезде қол жеткізеді.

Модификацияланбаған БНД 70/100 бастапқы битумында серпімді қалпына келмейді, ол модификацияланған битумдарға арналған стандарттар талаптарымен реттеледі. Осы талаптарға сәйкес серпімді қалпына келтіру жылдамдығы $\geq 50\%$ болуы керек.

Нәтижелер битумға 15% резеңке түйіршіктерді қосқанда серпімді қалпына келтіру коэффициенті $\geq 70\%$ екенін көрсетеді, бұл серпімді қалпына келтіруі 50-60% сипатталатын 2,5-3% СБС -пен модификацияланған битумға қарағанда жоғары нәтиже.

Жеңіл немесе жүк көліктерінің шиналары пайдаланылғанына қарамастан, битумның қасиеттеріне негізінен резеңке түйіршіктердің өлшемдері әсер етеді. Үлкен өлшемді бөлшектер (2,0-2,5 мм) серпімді өсудің жақсы сапасын қамтамасыз етеді. 

Қаржыландыру. Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант № AP19679081).

ӘДЕБИЕТ

- 1 Tyre E., Manufacturers R., Tyres L., European T. 92 % of all End of Life Tyres collected and treated in 2017// European tyre rubber manufacturer,s association. – 2019. – P.92-94.
- 2 Torretta V., Cristina E., Ragazzi M., Trulli E., Aura I., Ionel L. Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review // Waste Manag. – 2015. – №45. – P. 152-160. 3. Riekstins A., Baumanis J., Barbars J. Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes. // Construction and Building Materials. – 2021.– №292.– P.123459. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123459>.
- 4 Bressi S., Fiorentini N., Huang J., Losa M. Crumb rubber modifier in road asphalt pavements: State of the art and statistics. – Coatings. – 2019. – №9. – P.384. 5. Kaloush K.E., Biligiri K.P. Asphalt Rubber Standard Practice Guide // Prepared for the Rubber Pavements Association.– 2011. – P.107.
- 6 Presti D. Lo. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. Construction and Building Materials. – 2013. – №49. P. 863-881.
- 7 Mohajerani Abbas, Burnett Lucas, Smith John V., Markovski Stefan, Rodwell Glen, Rahman Md Tareq, Kurmus Halenur, Mirzababaei Mehdi, Arulrajah Arul, Horpibulsuk Suksun, Maghool Farshid. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: Areview, Resource // Conservation and Recycling. – 2020.– Volume155. – P.104679.
- 8 Riekstins Arturs, Baumanis Janis, Barbars Janis. Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes // Construction and Building Materials. – 2021. – Volume 292. – P.123459.
- 9 Barišić Ivana, Zvonarić Matija, Netinger Grubeša Ivanka, Šurdonja Sanja. Recycling waste rubber tyres in road construction // Polish Academy of Sciences. – 2021. – Vol. LXVII. – P. 499-512.
- 10 Airey GD, Collop AC, Mujibur MM. Mechanical properties of crumb rubber modified asphalt mixtures // In: 3rd Eurasphalt & Eurobitume Proc., Vienna. – 2004. – P. 800.
- 11 Amirkhanian SN. Utilization of crumb rubber in asphaltic concrete mixture south carolina experience // South Carolina DOT, South Carolina, USA. – 2001. – P.50.
- 12 Bahia HU, Davis R. Effect of Crumb Rubber Modifiers (CRM) on performance related properties of asphalt binders // Association of asphalt paving technologists– proceedings. – 1994.– №63. – P. 414-49.
- 13 Picado– Santos L.G., Capitão S.D., Neves J.M.C., Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review // Construction and Building Materials. – 2020. №247. – P.118577.
- 14 Picado– Santos L.G., Capitão S.D., Dias J.L.F. Crumb rubber asphalt mixtures by dry process: Assessment after eight years of use on a low/medium trafficked pavement // Construction and Building Materials. – 2019. – № 215. – P.9-21.

- 15 Chavez F., Marcobal J., Gallego J., Laboratory evaluation of the mechanical properties of asphalt mixtures with rubber incorporated by the wet, dry, and semi- wet process // Construction and Building Materials.– 2019. – №205. – P.164-174.
- 16 Zanzotto L, Kennepohl GJ. Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt // Transportation research record. – 1996. – №1530:51. – P.8.
- 17 Pavlovich RD, Shuler TS, Rosner JC. Chemical & physical properties of asphalt rubber mixtures – Phase II: Product specifications and test procedures // Arizona. Arizona Department of Transportation, FHWA/AZ– 79/121. – 1979. – P.50-55.
- 18 Chehovits JD, Dunning RL, Morris GE. Characteristics of asphalt–rubber by the sliding plate microviscometer // Association of asphalt paving technologists– proceedings. – 1982. – № 51:240. – P.61.
- 19 Billiter TC, Chun JS, Davison RR, Glover CJ, Bullin JA. Investigation of the curing variables of asphalt–rubber binder // Petroleum science and technology. – 1997. – №15(5). –P.445-69.
- 20 Navarro FJ, Partal P, Martínez– Boza FJ, Gallegos C. Influence of processing conditions on the rheological behavior of crumb tire rubber– modified bitumen // Applied Polymer Science. – 2007. – №104(3). – P.1683-91.
- 21 Takallou HB, Sainton A. Advances in technology of asphalt paving materials containing used tire rubber // Transportation research record. – 1992. – №1339. – P.23-9.