

ӘОЖ 665.775; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-3.15>

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

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

<https://orcid.org/0000-0003-2732-3507>

<https://orcid.org/0000-0003-4074-5499>

<https://orcid.org/0000-0001-9595-9756>

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

<https://orcid.org/0000-0002-9781-2923>

МУНАЙ БИТУМДАРЫН ҰСАҚ РЕЗЕҢКЕ ҮГІНДІЛЕРІМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУЫН ЗЕРТТЕУ



А.Ш. АККЕНЖЕЕВА,
техника ғылымдарының
кандидаты, Ш. Есенов
атындағы КТИУ
«Мұнайхимиялық инжиниринг»
кафедрасының доценті,
anar.akkenzheeva@yu.edu.kz



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



М.М. ИБРАЕВА,
PhD, Ш. Есенов атындағы
КТИУ «Жаратылыстану
ғылымдары»
кафедрасының доценті,
manshuk.ibrayeva@yu.edu.kz



А.Н. БОРАНБАЕВА,
PhD, Ш. Есенов атындағы
КТИУ «Жаратылыстану
ғылымдары» кафедрасының
аға оқытушысы,
assiya.boranbayeva@yu.edu.kz



М.Ж. АИМОВА,
химия ғылымдарының
кандидаты, Ш. Есенов атын-
дағы КТИУ «Жаратылыстану
ғылымдары» кафедрасының
доценті,
murshida.aimova@yu.edu.kz



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

Г.Т. МУСТАПАЕВА, Ш. Есенов атындағы КТИУ «Жаратылыстану ғылымдары» кафедрасының аға оқытушысы, gulnara.mustapayeva@yu.edu.kz

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

Қазіргі уақытта әлемде қайта өңдеуге деген ұдайы ұмтылыстың арқасында көптеген елдер резеңке қалдықтарын жолдарда пайдалану мүмкіндігін қарастыруда. Қазақстандағы жолдар үшін битумды модификациялау ең қолайлы және танымал тәсілдердің бірі болып саналады. Бұл мақалада өнеркәсіптік резеңке қалдықтарынан алынған битумды үгінді резеңкемен модификациялау бойынша зерттеулердің нәтижелері көрсетілген. Мақалада битум модификаторлары ретінде үгінді резеңкенің қолданылуын егжей-тегжейлі сипатталады, әсіресе оларды битумның эксплуатациялық сипаттамаларын және жолдың беріктігін жақсарту үшін қалай пайдалануға болатынына ерекше назар аударады. Резеңке-битум байланыстырғыштарын алу үшін ылғалды процесс қолданылады. Ылғалды процесс жоғары температурада үгінді резеңкемен алдын ала араластыру арқылы асфальт байланыстырғышты тікелей модификациялайды, нәтижесінде жоғары температурада икемділігі мен тұтқырлығы жоғарырақ тұрақты материал алынады. Модификацияланған битумның негізгі физикалық-механикалық сипаттамалары, пенетрациясы, иілгіштігі және жұмсару температурасы стандартты сынақтардан кейін анықталды. Модификацияланған битумның морфологиясы сканерлеуші электронды микроскопия көмегімен зерттелді. Нәтижелер СБС қосылған үгінді резеңкемен модификацияланған битум қазақстандық стандарттардың полимер-битум байланыстырғыштарына қойылатын талаптарға сәйкес келетінін және өзінің физикалық-химиялық сипаттамалары бойынша модификацияланған битум өндірісіне жарамды екенін растайды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: мұнай битумы, модификация, физикалық-механикалық сипаттамалар, резеңке үгіндісі, стирол-бутадиен-стирол модификаторы.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ МЕЛКОЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ

А.Ш. АККЕНЖЕЕВА, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтехимический инжиниринг» КУТИ им. Ш.Есенова, anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

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

М.М. ИБРАЕВА, PhD, доцент кафедры «Естественные науки» КУТИ им. Ш.Есенова, manshuk.ibrayeva@yu.edu.kz

А.Н. БОРАНБАЕВА, PhD, старший преподаватель кафедры «Естественные науки», assiya.boranbayeva@yu.edu.kz

М.Ж. АИМОВА, кандидат химических наук, доцент кафедры «Естественные науки» КУТИ им. Ш.Есенова, murshida.aimova@yu.edu.kz

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

Г.Т. МУСТАПАЕВА, старший преподаватель кафедры «Естественные науки» КУТИ им. Ш.Есенова, gulnara.mustapayeva@yu.edu.kz

НАО «КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГА
ИМ. Ш. ЕСЕНОВА»

Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр

В настоящее время в мире, из-за постоянного стремления к вторичной переработке, многие страны рассматривают возможность использования резинотехнических отходов на дорогах. Модификация битума для дорог в Казахстане считается одним из наиболее подходящих и популярных подходов. В данной статье представлены результаты исследований по модификации битума резиновой крошкой полученной из резинотехнических отходов. В документе подробно описываются детали использования резиновой крошки в качестве модификаторов битума, с особым акцентом на то, как они потенциально могут быть использованы для повышения эксплуатационных характеристик битума и долговечности дорог. Для получения резинобитумных вяжущих используется мокрый процесс. Мокрый процесс модифицирует асфальтовое вяжущее непосредственно путем предварительного смешивания с резиновой крошкой при повышенных температурах, он приводит к тому, что материал получается наиболее стабильный, с увеличенными показателями эластичности, вязкости при высоких температурах. Основные физико-механические характеристики модифицированного битума были определены после стандартных испытаний: пенетрации и пластичности, температуры размягчения. Морфология модифицированного битума была изучена с помощью сканирующей электронной микроскопии. Результаты подтверждают, что битум модифицированный резиновой крошкой с добавлением СБС соответствует требованиям к полимерно-битумному вяжущему казахстанских стандартов и по своим физико-химическим характеристикам подходит для производства модифицированного битума.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтяной битум, модификация, физико-механические характеристики, резиновая крошка, модификатор стирол-бутадиен-стирол.

INVESTIGATION OF MODIFICATION OF PETROLEUM BITUMEN WITH FINE RUBBER CRUMB

A.Sh. AKKENZHHEYEVA, candidate of technical sciences, associate professor of the department of «Petrochemical engineering» of CUTE named after Sh.Yessenov, anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

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

M.M. IBRAYEVA, PhD, associate professor of the department of «Natural Sciences», manshuk.ibrayeva@yu.edu.kz

A.N. BORANBAYEVA, PhD, senior lecturer of the department of «Natural Sciences», assiya.boranbayeva@yu.edu.kz

M.Zh. AIMOVA, candidate of chemical sciences, associate professor of the department of «Natural Sciences» of CUTE named after Sh. Yessenov, murshida.aimova@yu.edu.kz

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

G.T. MUSTAPAYEVA, senior lecturer of the department of «Natural Sciences» of CUTE named after Sh. Yessenov, gulnara.mustapayeva@yu.edu.kz

Currently, in the world, due to the constant desire for recycling, many countries are considering the possibility of using rubber waste on roads. Bitumen modification for roads in Kazakhstan is considered one of the most suitable and popular approaches. This article presents the results of research on the modification of bitumen with rubber chips obtained from rubber waste. The document describes in detail the details of using rubber chips as bitumen modifiers, with particular emphasis on how they can potentially be used to improve bitumen performance and road durability. A wet process is used to produce rubber-bitumen binders. The wet process modifies the asphalt binder directly by pre-mixing with rubber crumbs at elevated temperatures, it leads to the fact

that the material turns out to be the most stable, with increased elasticity and viscosity at high temperatures. The main physical and mechanical characteristics of the modified bitumen were determined after standard tests: penetration and plasticity, softening temperatures. The morphology of the modified bitumen was studied using scanning electron microscopy. The results confirm that bitumen modified with a rubber crumb with the addition of SBS meets the requirements for a polymer-bitumen binder of Kazakhstani standards and, according to its physico-chemical characteristics, is suitable for the production of modified bitumen.

KEY WORDS: *petroleum bitumen, modification, physical and mechanical characteristics, rubber crumb, styrene-butadiene-styrene modifier.*

К іріспе. Қазіргі уақытта модификациялық қоспалар ретінде әртүрлі материалдар қолданылады, олардың арасында полимерлі компоненттер, өндірістен шыққан қалдықтар әсіресе кеңінен қолданылады. Мұнай байланыстырғыштарын модификациялау үшін стирол-бутадиен стирол блок-сополимерлер (СБС) немесе олардың аналогтары ең көп қолданылды. Олардың сапасын жақсарту және битум негізіндегі композиттік байланыстырғыштарды жасау үшін кеңінен қолдану өндірістің үлкен көлемімен және қолжетімділігімен байланысты. Алайда, СБС және олардың аналогтарын полимерлік модификациялық қоспалар ретінде пайдалану кезінде полимерлі-битумды байланыстырғыш заттардың (ПББ) құнының айтарлықтай өсуі мәселесі туындайды [1], бұл оларды жол құрылысында кеңінен қолдануға мүмкіндік бермейді.

Битумды байланыстырғыштың эксплуатациялық қасиеттерін реттеуді оған тозған автомобиль шиналарын қайта өндеп алынған резеңке үгіндісі (РҮ) негізіндегі модификаторды енгізу арқылы жүргізу, қазіргі уақытта битум модификациясының ең перспективалы және сәтті дамып келе жатқан бағыты болып табылады [2-18].

Қазіргі уақытта әлемдік тәжірибеде асфальтбетонға резеңке үгіндісін енгізудің үш әдісі қолданылады: «құрғақ», «ылғал» және қоспаның жол төсеміне резеңке үгіндісін енгізу [19].

«Құрғақ» әдіс резеңке үгінділерін минералды толтырғышқа қоспа ретінде, яғни оны дайындау процесінде асфальтбетон қоспасында қолдануды қамтиды [20]. Екінші әдіс «ылғал» әдіс – бұл битумға резеңке үгіндісін енгізу арқылы жүзеге асырылатын модификация процесі, яғни битум мен резеңке үгіндісін жол төсемін өндіруге бағытталған резеңке битум байланыстырғышын алу арқылы араластыру.

«Құрғақ» әдісте резеңке үгіндісі битуммен араластырғышта араласады, «дымкыл» әдісте резеңке үгіндісін битумға алдын ала енгізеді [21, 22].

«Құрғақ» әдісті қолдана отырып модификациялау кезінде резеңке үгіндісі гомогенді, біртекті күйге дейін битуммен араласпайды, өйткені ол қалыпты өндеу жағдайында қоспада ерімейді және полимердің үздіксіз торын құрмайды. «Ылғал» әдіспен асфальтбетон қоспаларынан жасалған жабындар ұзақ қызмет ету мерзімімен ерекшеленді. Жоғарыда айтылғандарға байланысты АҚШ-та «құрғақ» тәсілмен асфальтбетон қоспасына резеңке үгіндісін енгізуден бас тартты [23].

Зерттеуде мұнай битумына резеңке үгінділерін енгізіп, араластыру арқылы модификациялау процесінде «ылғал» әдісі қолданылу үстінде.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Өнімнің БНД 100/130 маркасы үшін ҚР СТ 1373-2013 «Битумдар және битумды байланыстырғыштар. Мұнай жол тұтқыр би-

тумдары. Техникалық шарттар» стандарттарының талаптарына сәйкестігін анықтау үшін мұнай жол байланыстырғыш битумының сынамасы жүргізілді.

БНД 100/130 маркалы мұнай жол байланыстырғыш битумының сынамалары ҚР СТ 1288 «Битумдар мен битум байланыстырғыштар. Сынамаларды іріктеу және сынамаларды зерттеуге дайындау әдістері» бойынша № Т224 резервуардан алынды. Сынақ нәтижелері *1-кестеде* келтірілген.

Сынақ нәтижелері көрсеткендей, БНД 100/130 нақты көрсеткіштері, мысалы, сақина мен шардың жұмсару температурасы 44 °С, 25 °С созылғыштығы ≥ 150 см, 0 °С – 6,9 см, 60 °С динамикалық тұтқырлығы – 138 Па*с, 135 °С динамикалық тұтқырлығы – 352 мм²/с, тұтану температурасы – 282 °С, Фраас бойынша сынғыштығы – 24 °С, парафиннің мөлшері – 0,4 % болды және ҚР СТ 1373-2013 талаптарына сәйкес келеді.

Кесте 1 – БНД 100/130 маркалы мұнай жол тұтқыр битумының сипаттамасы

№	Көрсеткіштің атауы	БНД 100/130 маркасының нормативтік көрсеткіштері	Нақты мәні	Сынау әдістері
1	Иненің ену тереңдігі, төмен емес, мм			ҚР СТ 1226
	25 °С температурада	101-130	113	
	0 °С температурада	30	32	
2	Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, төмен емес, °С	43	44	ҚР СТ 1227
3	Созылғыштығы, кем емес: 25 °С температурада, см	90	>150	ҚР СТ 1374
	Созылғыштығы, кем емес: 0 °С температурада, см	4,0	6,9	
4	Динамикалық тұтқырлық, кем емес, 60 °С температурада, Па*с	120	138	ҚР СТ 1211
5	Динамикалық тұтқырлық, кем емес, 135 °С температурада, мм ² /с	180	352	ҚР СТ 1210
6	Тұтану температурасы, төмен емес, °С	230	282	ҚР СТ 1804
7	Фраас бойынша сынғыштық температурасы, жоғары емес, °	– 22	– 24	ҚР СТ 1229
8	Пенетрация индексі	0,1-ден + 1,0-ге дейін	– 0,7	
9	Ерігіштігі, төмен емес, %	99,0	99,9	ҚР СТ 1228
10	Парафиннің мөлшері, жоғары емес, %	2,5	0,4	ҚР СТ 1230

Полимерлі битум байланыстырғыштарын дайындауда модификатор ретінде полимер битумының байланыстырғыштарының қабатсыздануын болдырмау үшін дайын жоғары серпімді полимер СБС-01-10 (стирол-бутадиен-стирол) қолданылды. Бұл модификаторды битумға енгізген кезде полимер-битум қоспасы төмен температурада жұмсақ және икемді, ал жоғары температурада тұтқыр болады. Осыған сәйкес модификацияланған битумның адгезиясы артады. СБС полимерінің қасиеттері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – СБС полимерінің қасиеттері

Көрсеткіштер	СБС-01-10
Құрылымы	Сызықты
Байланысқан стирол, %	30
Шор А бойынша қаттылығы	80
Ұшқыш заттар, %	0,8
Күлділігі, %	0,3
Меншікті салмағы	0,95
Үзілу беріктігінің шегі, МПа	21
Балқыманың ағу индексі, 200 °С/5 кгс	1

Тозған автомобиль шиналарын ұсақтау нәтижесінде алынған резеңке үгінділері «ЭКО-Шина» ЖШС (Кемерово облысының Новокузнецк қаласы) ұсынды. Бұл ұйымның өнім ассортименті 0-2 мм фракцияларының резеңке үгінділерін қамтыды. резеңке үгінділерімен модификацияланған битумдарды алу үшін електен талдау арқылы алынған 0,5 мм-ге дейінгі резеңке үгінділерді қолдану туралы шешім қабылданды. Резеңке үгінділерінің физикалық қасиеттері келтірілген.

Кесте 3 – Резеңке үгіндісінің физикалық қасиеттері

№	Көрсеткіштің атауы	Мәні
1	Судың массалық үлесі, %	1,0
2	Тоқыманың мөлшері, масса бойынша %	1
3	Магниттік сепарациядан кейінгі қара металдардың мөлшері, масса бойынша %	0,01
4	Резеңке үгіндісінің көлемдік тығыздығы, т/м ³	0,2
5	Бөлшектің меншікті беті, м ² /г	0,9

Зерттеу нәтижесі. Битум мен резеңке үгіндінің өзара әрекеттесуінің оңтайлы уақытын анықтау үшін эксперименттер жүргізілді. Әдебиет деректерін талдау негізінде эксперименттік температура 190 °С болып таңдалды. Зерттеу нәтижелері 4-кестеде көрсетілген. Оңтайлы өзара әрекеттесу уақыты 2,5-3 сағат құрады.

Кесте 4 – Модификацияланған битумның физика-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіштің атауы	Пайыздық қатынас БНД 100/130 : резеңке үгіндісі					Сынақ әдісі
	95:5	95:5	95:5	95:5	95:5	
Уақыт	60 мин	90 мин	120 мин	150 мин	180 мин	
Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, °С	45,5	44	46,00	40,5	44,00	ҚР СТ 1227
25°С температурада иненің ену тереңдігі, 0,1 мм	48,3	58	54,00	64,3	64,6	ҚР СТ 1226
Созылғыштығы, см	11,15	14	16,2	17,15	16,5	ҚР СТ 1374

Жұмсару температурасының көрсеткішінен көріп отырғанымыздай, үлгілердің ешқайсысы полимер-битум байланыстырғыштары үшін ПББ 40 (56-дан төмен емес), 60 (54-тен төмен емес), 90 (51-ден төмен емес) стандартына сәйкес келмейді. Тәжірибелер сонымен қатар күңгірт вакуумдық фракция болып табылатын пластификаторын қосу арқылы жүргізілді. Сынақ нәтижелері 5-кестеде берілген.

Кесте 5 – Күңгірт вакуум фракция пластификаторы бар модификацияланған битумның физика-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіштің атауы	Пайыздық қатынас БНД 100/130 : резеңке үгіндісі : күңгірт вакуум фракция			
	76,7:20:3,3	81,7:15:3,3	86,7:10:3,3	91,7:5:3,3
Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, °С	45,5	45,5	47,00	32,00
25°С температурада иненің ену тереңдігі, 0,1 мм	63	66,00	55,3	68,6
Созылғыштығы, см	17,1	15,15	16,1	17,3

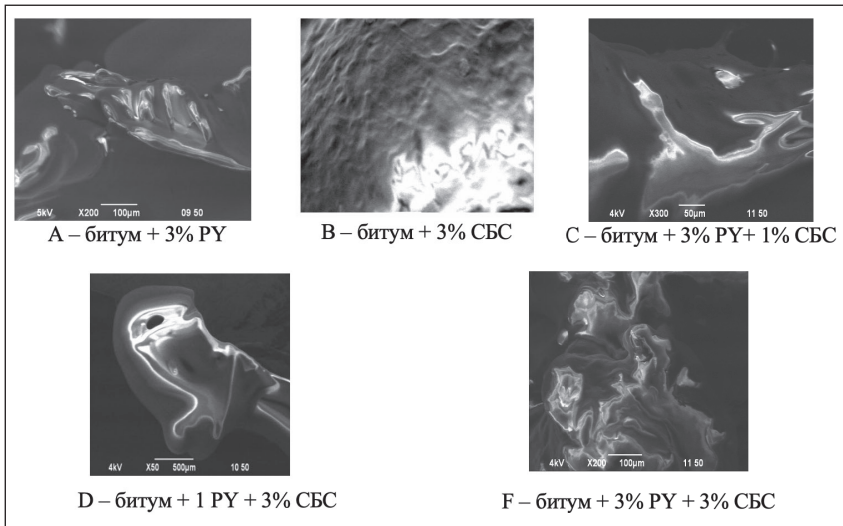
Қазіргі зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, жоғарыда әртүрлі араластыру уақытында битум мен резеңке үгіндісінің де, бірдей араластыру уақытында битум : резеңке үгіндісі : күңгірт вакуумдық фракция пластификаторының да ПББ-тің МемСТ стандарттарына сәйкес келмей тұрғанын көруімізге болады, себебі, зерттеу нәтижелерінің көрсеткіштері бойынша алынған физика-химиялық сипаттамалары төмен. Ал соңғы сынақ ретінде СБС-LG501 модификаторы мен резеңке үгіндісімен жасалған тәжірибе алдыңғы сынамаларға қарағанда біршама жақсы көрсеткіштерге ие болғандықтан, стандартқа сәйкес келуі үшін осы қоспа қатысында ары қарай әртүрлі концентрацияда зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Кесте 6 – СБС модификаторы бар модификацияланған битумның физика-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіштің атауы			
Пайыздық қатынас БНД 100/130 : резеңке үгіндісі : СБС	Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, °С	25°С температурада иненің ену тереңдігі, 0,1 мм	Созылғыш-тығы, см
99:1:0	40,5	68	24,5
98:1:1	37,5	49	30,9
96:1:3	53	37,3	59,45
98:2:0	39	49,6	21,8
97:2:1	44,5	45,6	49,4
95:2:3	71	44,3	54,5
97:3:0	50	45,3	14,75
96:3:1	47,5	31	17,15
94:3:3	57,5	29,7	43,55
96:4:0	36	47	10,75
95:4:1	41,5	44,3	23,9
93:4:3	47,5	43,3	42
95:5:0	40,5	64,3	10,1
94:5:1	46	55,6	21,5
92:5:3	60,5	47,6	46,85

6-кестеден көріп отырғанымыздай, қосылған резеңке үгіндісі мөлшерінің жоғарылауымен материалдың қаттылығын сипаттайтын жұмсару температурасының жоғарылауы байқалады. СБС қоспай және битумды резеңкенің қатысында модификациялағанда битумның аздап жұмсаруы жүреді, бірақ кейін СБС қосқанда алынған өнім қатайды. Дайындалған үлгілердің ішінде құрамында массалық үлесі 3 % СБС полимері бар байланыстырғыштар көрсеткіштер бойынша ПББ 90 (51-ден кем емес) бойынша техникалық шарттар талаптарына сәйкес келеді. Сондай-ақ 6-кестеде СБС модификаторының қатысуымен битумды полимер қалдықтарымен модификациялау нәтижесінде иненің ену шамасы төмендейтіні көрсетілген. Бұл битумға резеңке үгіндісін енгізу нәтижесінде жүйенің тұтқырлығының жоғарылауымен түсіндіріледі, бұл СБС қосылмаған жүйемен салыстырғанда иненің ену тереңдігін (пенетрациясын) азайтады. СБС полимерінің қатысуынсыз битумның созылғыштығы монотонды түрде өзгереді және ол резеңке үгіндісінің мөлшері 5 % болғанда ең төменгі мәнге жетеді. Дайындалған үлгілердің ішінде массасық үлесі 3 % СБС бар байланыстырғыш көрсеткіштер бойынша ПББ 90 (30-дан кем емес) бойынша техникалық шарттарға қойылатын талаптарға сәйкес келеді. Бұл резеңке үгіндінің дисперсиясы кезінде ерімейтін ісінген полимер бөлшектерінің көлемінде битум байланыстырғыштың созылу көрсеткішінің мәніне әсер ететін шайырлар мен полиароматты компоненттердің болуымен түсіндіріледі.

Резеңке-битумды байланыстырғыштың (РББ) электронды-микроскопиялық зерттеулері РББ құрамында аз мөлшерде резеңке үгінділерімен (массасы бойынша 1-2%) ол битумның төмен молекулалық бөлігі майларда еруге қабілетті екенін көрсетеді. Резеңке үгіндісінің мөлшері артқанда ол битумда бөлек, байланыссыз бөлшектер түрінде таралады. Композициядағы олардың әрекетінің әсері толтырғыштың әсеріне ұқсас. 3% немесе одан да көп қосындыларда бөлшектердің агрегациясы және бірігуі орын алады (1А-сурет).



Сурет 1 – Модификацияланған битумның СЭМ суреттері

Резеңке үгіндісінің шағын концентрациясында композицияларды дисперсиямен күшейтілген деп санауға болады. Бұл әсер дисперсті фаза мөлшері көлем бойынша 3% дейін болғанда байқалады. Битумдағы СБС полимерінің жоғары концентрациясында композицияларды беріктігі мен серпімділігі жоғарылаған талшықты немесе қабатты деп санауға болады (*IB-сурет*). 3% резеңке үгіндісі мен 1% СБС қосқанда дисперсиялану процесі күшті жүрмейді, ал жоғары температурада қоспа эмульсия болып табылады (*IC-сурет*). Бұл одан әрі битум матрицасында микрожарықтарды тудыруы мүмкін. Авторлар [24] ұсақталған шина резеңкесі мен асфальт байланыстырғыштың өзара әрекеттесу механизмі бір мезгілде екі процестен тұратынын көрсетті: каучуктың битумда ішінара бөлінуі және каучуктың полимер тізбектерінде ароматты майлардың адсорбциясы. Электрондық микроскопиялық зерттеулердің нәтижелерінен көріп отырғанымыздай, битумды кез келген химиялық табиғаттағы резеңке үгінділерімен жоғары температурада араластыру процесі екі кезеңде жүреді: сұйық битумдағы жұмсартылған резеңке үгіндісінің эмульсиялануы және кейіннен ішінара ісіну немесе толық еруі. Резеңке үгінділерінің концентрациясының жоғарылауымен битум құрылымы бұзылады және ұсақ бөлшектерге бөлшектенеді, ал компоненттер қарқынды түрде араласады. Осылайша, полимер қалдықтарының массалық үлесі 3% мөлшерінде енгізілгенде стирол-бутадиен-стирол битумда үздіксіз фазаны құрайды (*IF-сурет*).

Қорытынды. Осылайша, стирол-бутадиен-стирол полимерінің құрылымында ароматты блоктардың болуы оның құрамында ароматты қосылыстардың айтарлықтай мөлшері бар мұнай битумына жақындығын анықтайды. Нәтижесінде, СБС полимерімен модификацияланған битумның құрылымы резеңке үгіндісі бар битум композицияларының құрылымынан түбегейлі ерекшеленеді. Араластыру температурасы 190 °С болған кезде резеңке үгіндісінің мальтендерде еруіне байланысты біртекті композиция пайда болады. Бұл эксплуатациялық температурасының кең диапазонында асфальтбетонның деформациялық тұрақтылығын арттыруға және жабындардың беріктігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді деп болжануда. 🌐

Қаржыландыру

Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант № АР19679081).

ӘДЕБИЕТ

- 1 Боранбаева А.Н., Серикбаева А.К., Иманбаев Е.И., Бусурманова А.Ч., Аккенжеева А.Ш. Снижение нагрузки на окружающую среду с утилизацией нефтешламов на дорожный битум // Экология промышленного производства. – 2022. - №1. – С. 13-17. https://doi.org/10.52190/2073-2589_2022_1_13. [Boranbaeva A.N., Serikbaeva A.K., Imanbaev E.I., Busurmanova A.Ch., Akkenzheeva A.Sh. Snizhenie nagruzki na okruzhayushhuyu sredu s utilizatsiej nefteshlamov na dorozhny`j bitum// E`kologiya promy`shlennogo proizvodstva. – 2022. - №1. – S.13-17.]
- 2 Алексеенко В.В., Балабанов В.Б. Асфальтобетоны на основе битумно-резиновых композиционных вяжущих для дорожного строительства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12 (59). С. 112-114. [Alekseenko V.V., Balabanov V.B. Asfal'tobetony na osnove bitumno-rezinovykh kompozitsionnykh vyazhushchih dlya dorozhnogo stroitel'stva // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 12 (59). S. 112-114.]
- 3 Прокопий А.М., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Улучшенное битумнополимерное вяжущее // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 12. С.182-184. [Prokopij A.M., Abdullin A.I., Emel'yanycheva E.A. Uluchshennoe bitumnopolimernoe vyazhushchee // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. T. 15. № 12. S.182-184.]
- 4 Маркова М.А., Машкова А.А., Олихова Ю.В., Осипчик В.С. Влияние модификаторов на свойства дорожных битумных вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. - 2017. - Т. XXXI. - № 11. - С. 70-72. [Markova M.A., Mashkova A.A., Olikhova Yu.V., Osipchik V.S. Vliyanie modifikatorov na svojstva dorozhny`kh bitumny`kh vyazhushhikh // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. - 2017. - T. XXXI. - № 11. - S. 70-72.]
- 5 Сербин С.А., Кутукова Е.К., Костромина Н.В., Ивашкина В.Н., Осипчик В.С., Аристов В.М. Модифицированное резино-битумное связующее для дорожных покрытий // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. XXXI. № 11. С.108-110. [Serbin S.A., Kutukova E.K., Kostromina N.V., Ivashkina V.N., Osipchik V.S., Aristov V.M. Modificirovannoe rezino-bitumnoe svyazuyushchee dlya dorozhnykh pokrytij // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. 2017. T. XXXI. № 11. S.108-110.]
- 6 Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Ивашкина В.Н., Аристов В.М., Сербин С.А. Повышение эксплуатационных свойств резинонаполненных битумных вяжущих // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 8. С.50-53. [Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Ivashkina V.N., Aristov V.M., Serbin S.A. Povyshenie ekspluatatsionnykh svojstv rezinonapolnennykh bitumnykh vyazhushchih // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T.19. № 8. S.50-53.]
- 7 Иванов С.А., Шабаетов С.Н., Исследование влияния стадийности технологического процесса получения композиционных резинобитумных вяжущих на их свойства// Вестник ТГАСУ. -2016. - № 4. – С. 153-158. [Ivanov S.A., Shabaev S.N., Issledovanie vliyaniya stadiynosti tekhnologicheskogo proczessa polucheniya kompozitsionny`kh rezinobitumny`kh vyazhushhikh na ikh svojstva// Vestnik TGASU. -2016.- № 4. – S. 153-158.]
- 8 Покладий Я.Н. Панин А.В., Иванов С. А. Химизм процесса улучшения физикохимических параметров полимерно-битумного вяжущего на основе резиновой крошки

- // Строительные материалы и изделия. 2015. № 6. С.147-151. [Pokladij YA.N. Panin A.V., Ivanov S. A. Himizm processa uluchsheniya fizikohimicheskikh parametrov polimerno-bitumnogo vyazhushchego na osnove rezinovoj kroshki // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2015. № 6. S.147-151.]
- 9 Оксак С.В. Влияние дробленной резиновой крошки на свойства битума и асфальтобетона // Вестник ХНАДУ. Вып.79. 2017. С.133-137. [Oksak S.V. Vliyanie droblennoj rezinovoj kroshki na svoystva bituma i asfal'tobetona // Vestnik HNADU. Vyp.79. 2017. S.133-137.]
 - 10 Исследование процессов старения резинонаполненных битумных вяжущих// Успехи в химии и химической технологии. Том XXX. 2016. № 10. С.40-42. [Issledovanie processov stareniya rezinapolnennykh bitumnykh vyazhushchih// Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. Tom ХХХ. 2016. № 10. S.40-42.]
 - 11 Abbas Mohajerani, Lucas Burnett, John V. Smith, Stefan Markovski, Glen Rodwell, Md Tareq Rahman, Halenur Kurmus, Mehdi Mirzababaei, Arul Arulrajah, Suksun Horpibulsuk, Farshid Maghool, Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: Areview, Resources, Conservation and Recycling, Volume155, 2020, 104679, ISSN0921-3449,https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679.
 - 12 Arturs Riekstins, Janis Baumanis, Janis Barbars, Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes, Construction and Building Materials, Volume 292, 2021, 123459, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123459.
 - 13 Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Сербин С.А., Ивашкина В.Н., Аристов В.М. Резинонаполненный дорожный битумный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 22. С. 57- 60. [Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Serbin S.A., Ivashkina V.N., Aristov V.M. Rezinopolnennyy dorozhnyy bitumnyy material s uluchshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T.19. № 22. S. 57- 60.]
 - 14 Шабает С.Н., Иванов С.А. Развитие технологии получения и эффективного использования в Кузбассе композиционных полимерно-битумных вяжущих на основе резиновой крошки // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 3 (8). С. 63-71. [Shabaev S.N., Ivanov S.A. Razvitiye tekhnologii polucheniya i effektivnogo ispol'zovaniya v Kuzbasse kompozitsionnykh polimerno-bitumnykh vyazhushchih na osnove rezinovoj kroshki // Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2014. № 3 (8). S. 63-71.]
 - 15 Корнейчук Г.К., Буценко Ю.А. Новое высококачественное вяжущее для асфальтобетонных дорожных покрытий с эффективным использованием резины шинных отходов // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2015. № 4 (25). С. 22-28. [Kornejchuk G.K., Bucenko YU.A. Novoe vysokokachestvennoe vyazhushchee dlya asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytij s effektivnym ispol'zovaniem reziny shinnykh othodov // Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU. 2015. № 4 (25). S. 22-28.]
 - 16 Осипчик В.С., Костромина Н.Д., Олихова Ю.В., Ивашкина В.Н., Аристов В.М., Сербин С.А. Повышение эксплуатационных свойств резинонаполненных битумных вяжущих // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 8. С. 50-55. [Osipchik V.S., Kostromina N.D., Olihova YU.V., Ivashkina V.N., Aristov V.M., Serbin S.A. Povyshenie ekspluatatsionnykh svoystv rezinopolnennykh bitumnykh vyazhushchih // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T.19. № 8. S. 50-55.]
 - 17 Костромина Н.В., Сербин С.А., Сабинин Викт. А., Сабинин Вяч. А. Исследование процессов старения резинонаполненных битумных вяжущих // Успехи в химии и

- химической технологии. Т. XXX. 2016. № 10. С.40-42. [Kostromina N.V., Serbin S.A., Sabinin Vikt. A., Sabinin Vyach. A. Issledovanie processov stareniya rezinonapolnennyh bitumnyh vyazhushchih // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. Т. XXX. 2016. № 10. С.40-42.]
- 18 Ivana Barišić, Matija Zvonarić, Ivanka Netinger Grubeša, Sanja Šurdonja. Recycling waste rubber tyres in road construction. Polish Academy of Sciences, Vol. LXVII, Issue 1, 2021. P. 499-512.
 - 19 Беляев П.С., Забавников М.В., Маликов О.Г., Волков Д.С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации // Вестник ТГТУ. 2005. Т.11. № 4. С.923- 930. [Belyaev P.S., Zabavnikov M.V., Malikov O.G., Volkov D.S. Issledovanie vliyaniya rezinovoy kroshki na fiziko-mekhanicheskie pokazateli neftyanogo bituma v processe ego modifikacii // Vestnik TGTU. 2005. Т.11. № 4. S.923- 930.]
 - 20 Шабаяев С.Н., Иванов С.А., Вахьянов Е.М., Влияние размера резиновой крошки на технологические параметры получения резинобитумного вяжущего // Молодой ученый. 2013. № 2 (49). С.75-77. [Shabaev S.N., Ivanov S.A., Vakh'yanov E.M., Vliyanie razmera rezinovoy kroshki na tekhnologicheskie parametry` polucheniya rezinobitumnogo vyazhushhego // Molodoy ucheny`j. 2013. № 2 (49). S.75-77.]
 - 21 Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1 (13). С. 260-263. [Ayupov D.A., Murafa A.V., Hakimullin YU.N., Hozin V.G. Sovremennye sposoby regeneracii rezin i vozmozhnosti ispol'zovaniya ih v stroitel'noj otrasli // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. № 1 (13). S. 260-263.]
 - 22 Лукьянова М.А., Вахьянов Е.М. Обоснование рационального состава битумных вяжущих модифицированных резиновой крошкой // КузГТУ. -2015. -№4. – С.143-146. [Luk'yanova M.A., Vah'yanov E.M. Obosnovanie racional'nogo sostava bitumnyh vyazhushchih modifitsirovannyh rezinovoy kroshkoj // KuzGTU. -2015. -№4. – S.143-146.]
 - 23 «Унирем» другие модификаторы [Электронный ресурс] //www.nk-group.ru. Режим доступа: http://www.nk-group.ru/PUBLIKACII/A_dorogi_N_04-2010_Unirem.pdf. [23. «Unirem» drugie modifikatory [Elektronnyj resurs] //www.nk-group.ru. Rezhim dostupa: http://www.nk-group.ru/PUBLIKACII/A_dorogi_N_04-2010_Unirem.pdf.]
 - 24 Lo Presti, D. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. Construction and Building Materials, 49, 863-881. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007)