

ӘОЖ 665.775; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-6.13>
<https://orcid.org/0000-0002-9847-8218>
<https://orcid.org/0000-0001-8228-7188>
<https://orcid.org/0000-0001-8273-0020>
<https://orcid.org/0000-0003-3133-222X>
<https://orcid.org/0000-0001-9595-9756>
<https://orcid.org/0000-0002-4494-7533>
<https://orcid.org/0000-0001-8486-8744>
<https://orcid.org/0000-0002-5346-3004>

БИТУМДАРДЫ ПЛАСТИК ПЕН РЕЗЕҢКЕ ҚАЛДЫҚТАРЫМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ



А.Ш. АККЕНЖЕЕВА¹,
техника ғылымдарының
кандидаты, профессор,
anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz



А.Ч. БУСУРМАНОВА¹,
химия ғылымдарының
кандидаты, профессор,
akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz



Е.И. ИМАНБАЕВ²,
PhD, қауымдастырылған
профессор,
erzhan.imanbayev@mail.ru



М.О. АЯПБЕРГЕНОВ³,
техника және
технологиялар магистрі,
Ayapbergenov_E@kaznipi.kz



М.Ж. АИМОВА¹,
химия ғылымдарының
кандидаты, доценті,
murshida.aimova@yu.edu.kz



М.Б. ТУРКМЕНБАЕВА¹,
химия ғылымдарының
кандидаты, доценті,
maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

У.К. ЕНСЕГЕНОВА⁴, докторант, uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

А.Ә. СЕЙДАЛИЕВ¹, техника ғылымдарының кандидаты, Зерттеу және даму жөніндегі вице-президент, askar.seidaliev@yu.edu.kz

¹Ш.ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ «КАСПИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТИ» КЕАҚ
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қаласы, 32 шағынаудан

²РМК «ЖАНУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ ИНСТИТУТЫ»
Қазақстан Республикасы, 050012, Алматы қаласы, Бөгенбай батыр көшесі, 172

³«ҚМГ ИНЖИНИРИНГ» ЖШС ҚАЗМҰНАЙГАЗҒЗЖИ ФИЛИАЛЫ
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қаласы, 35 шағынаудан, 6/1 учаске.

⁴ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ
Қазақстан Республикасы, 050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71

Бұл жұмыста МЖБ 70/100 маркалы битумды модификациялау үшін ELTC (End of Life Tire Compond) резеңке-полимерлі композиттерін пайдалану зерттелді. ELTC құрамында пайдаланылған автокөлік шиналарынан алынған девулканизацияланған резеңке ғана емес, сонымен қатар полиэтилен (ПЭ) және полипропилен (PP) сияқты тұтынудан кейінгі пластмассалар (полимерлер) бар. ELTC макромолекулалық тізбектердің көпшілігін сақтай отырып, салыстырмалы түрде төмен температурада сульфидті байланыстардың селективті ыдырауына мүмкіндік беретін селективті катализаторды пайдалана отырып, резеңке девулканизация әдісі арқылы өндіріледі. ELTC модификациясынан кейін асфальт байланыстырғыштың өнімділігі жақсарды. Модификациядан кейін негізгі асфальт байланыстырғыш біркелкі болды, ал негізгі асфальт байланыстырғыштың термиялық тұрақтылығы жақсарды. ELTC біркелкі бөлінген, модификацияланған асфальт байланыстырғыштың құрамдас бөліктері арасындағы үйлесімділік жақсы, бұл модификацияланған асфальт байланыстырғыштардың біртектілігін дәлелдейді. Нәтижелер көрсеткендей, барлық ELTC құрамдары өздерінің жұмсару нүктесін жақсартты және жазда пластикалық деформацияға төзімділігін арттырды. 25°C температурада иенің ену сынағының нәтижелері модификаторларды қосу ену мәнін төмендететінін көрсетеді. Бұл осы сынақ температурасында модификацияланған битум модификацияланбаған битумға қарағанда қаттырақ болады дегенді білдіреді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: битум, модификация, резеңке үгіндісі, резеңке-битум-байланыстырушы, девулканизация.

МОДИФИКАЦИЯ БИТУМОВ ОТХОДАМИ ПЛАСТИКА И РЕЗИНЫ

А.Ш. АККЕНЖЕЕВА¹, кандидат технических наук, профессор,
anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

А.Ч. БУСУРМАНОВА¹, кандидат химических наук, профессор,
akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz

Е.И. ИМАНБАЕВ², PhD, ассоциированный профессор, старший научный сотрудник,
erzhan.imanbayev@mail.ru

Е.О. АЯПБЕРГЕНОВ³, магистр техники и технологии, Руководитель службы анализа флюидов, Ayapbergenov_E@kaznipi.kz

М.Ж. АИМОВА¹, кандидат химических наук, доцент,
murshida.aimova@yu.edu.kz

М.Б. ТУРКМЕНБАЕВА¹, кандидат химических наук, доцент,
maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

У.К. ЕНСЕГЕНОВА⁴, докторант, uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz

А.А. СЕЙДАЛИЕВ¹, кандидат технических наук, askar.seidaliyev@yu.edu.kz

¹НАО «КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖИНИРИНГА
ИМ. Ш. ЕСЕНОВА»

Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр

²РГП «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ГОРЕНИЯ»

Республика Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172

³ФИЛИАЛ ТОО «КМГ ИНЖИНИРИНГ» «КАЗНИПИМУНАЙГАЗ»

Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 35 мкр., участок 6/1

⁴КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.АЛЬ-ФАРАБИ

Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71

В данной работе исследовано использование резино-полимерных композитов ELTC (End of Life Tire Compond) для модификации битумов марки БНД 70/100. ELTC содержит не только девулканизированную резину из подержанных автомобильных шин, но и использованные пластмассы (полимеры), такие как полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП). ELTC получена применением метода девулканизации каучука с использованием селективного катализатора, который позволяет избирательно разлагать сульфидные связи при относительно низких температурах, сохраняя при этом большую часть макромолекулярных цепей. Характеристики асфальтового вяжущего улучшились после модификации ELTC. После модификации базовое асфальтовое вяжущее стало более однородным, а термическая стабильность базового асфальтового вяжущего повысилась. ELTC равномерно распределяется, совместимость между компонентами модифицированного асфальтового вяжущего хорошая, что доказывает однородность модифицированных асфальтовых вяжущих. Результаты показывают, что все составы ELTC улучшают температуру размягчения и повышают их устойчивость к пластической деформации в летнее время. Результаты теста на проникновение иглы при 25° С показывают, что добавление модификаторов снижает значение проникновения. Это означает, что при этой температуре испытания модифицированный битум становится более твердым по сравнению с немодифицированным битумом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: битум, модификация, резиновая крошка, резино-битумно-вяжущее, девулканизация.

MODIFICATION OF BITUMENS WITH PLASTIC AND RUBBER WASTE

A.Sh. AKKENZHEYEVA¹, candidate of technical sciences, professor,
anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz

A.Ch. BUSSURMANOVA¹, candidate of chemical sciences, professor,
akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz

Y.I. IMANBAYEV², PhD, associate professor, senior researcher,
erzhan.imanbayev@mail.ru

Y.O. AYAPBERGENOV³, master of engineering and technology, head of fluid analysis service,
Ayapbergenov_E@kaznipi.kz

M.Zh. AIMOVA¹, candidate of chemical sciences, associate professor,
murshida.aimova@yu.edu.kz

M.B. TURKMENBAYEVA¹, candidate of chemical sciences, associate professor,
maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz

U.K. YENSEGENOVA², doctoral student, *uzilkhan.yensegenova@yu.edu.kz*

A.A. SEYDALIYEV¹, candidate of technical sciences, vice president for research and development, *askar.seidaliyev@yu.edu.kz*

¹CASPIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING
NAMED AFTER SH. YESENOV

Republic of Kazakhstan, 130000, city of Aktau, Microdistrict 32

²RGP "INSTITUTE OF COMBUSTION PROBLEMS"

Republic of Kazakhstan, 050012, city of Almaty, Bogenbai Batyr Street, 172

³BRANCH OF LLP "KMG ENGINEERING" "KAZNIPINEFTGAZ"

Republic of Kazakhstan, 130000, city of Aktau, Microdistrict 35, Plot 6/1

⁴AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

Republic of Kazakhstan, 050040, city of Almaty, al-Farabi Avenue, 71

In this paper, the use of rubber-polymer composites ELTC (End of Life Tire Compound) for modification of BND 70/100 bitumen was investigated. ELTC contains not only devulcanized rubber from used automobile tires, but also used plastics (polymers), such as polyethylene (PE) and polypropylene (PP). ELTC was obtained by applying the method of rubber devulcanization using a selective catalyst, which allows selective decomposition of sulfide bonds at relatively low temperatures, while preserving most of the macromolecular chains. The characteristics of the asphalt binder were improved after modification by ELTC. After modification, the base asphalt binder became more uniform, and the thermal stability of the base asphalt binder increased. ELTC is uniformly distributed, the compatibility between the components of the modified asphalt binder is good, which proves the homogeneity of the modified asphalt binders. The results show that all ELTC formulations improve their softening point and increase their resistance to plastic deformation in summer. The results of the needle penetration test at 25°C show that the addition of modifiers reduces the penetration value. This means that at this test temperature, the modified bitumen becomes harder compared to the unmodified bitumen.

KEY WORDS: bitumen, modification, rubber crumb, rubber-bitumen-binder, devulcanization.

Кіріспе. Қалдық пластик пен резеңке белгілі бір жол қоспасы үшін қажетті механикалық қасиеттерді жақсарту үшін кәдімгі материалды ішінара ауыстыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Сондай-ақ, битум модификаторлары ретінде қалдықтарды белсенді пайдалану өнімділікті арттыру, сондай-ақ жол төсемі материалдарының құнын төмендету мақсатында жүзеге асырылады. Тарихи тұрғыдан, резеңке үгіндісі модификацияланған асфальт жасау үшін бұрыннан қолданылған.

Үлкен көлемде резеңке-битум қоспаларын зерттеулер резеңке үгіндісін мұнай-асфальтпен араластыру жоғары және төмен температурада асфальт өнімділігін жақсартатынын, тұтқыр-серпімді және тозуға қарсы қасиеттерін, сондай-ақ резеңке-битум қоспаларының әдеттегі асфальт-бетон қоспаларымен салыстырғанда қызмет ету мерзімі ұзағырақ болатынын, қозғалыс шуын азайтатынын, шағылысатын жарықтардың пайда болуын бәсеңдететінін, байланыстырғыш заттардың тол-

тырғыштары бар материалдармен адгезиясын, сондай-ақ жол төсемінің сырғуға төзімділігін және тозуға төзімділігін жақсартатынын көрсетті [1, 2]. Дүние жүзінің көптеген елдері резеңке-битум байланыстырғыштардың жолтабанның түзілуіне тұрақтылығы және қажып, шытынауына төзімділігінің жоғарылауына байланысты битумды модификациялау үшін резеңке үгіндісін қолдануды енгізді [3-7].

Дегенмен, резеңке-битум байланыстырғыштарды пайдалану өндіріс пен төсеудің жоғары температурасы, қосымша энергия тұтыну, парниктік газдар шығарындыларының жоғарылауы және фазалардың бөлінуін болдырмау үшін үнемі араластыру қажеттілігі сияқты кейбір мәселелерді тудырады [8, 9].

Жоғарыда аталған мәселелерді шешу үшін қоспалар мен модификаторларды қосу немесе каучукты девулканизациялау сияқты әртүрлі шешімдер зерттелді [10-12]. Девулканизацияланған резеңке үгіндісі ерекше назар аударды, өйткені девулканизация процесіне қатысатын резеңкенің құрылымдық өзгерісі жоғары тұтқырлық пен фазаның бөліну мәселелерін бір уақытта шеше алатын өнімге әкеледі. Дегенмен, асфальтты байланыстырғыштарда девулканизацияланған каучукты қолдану механикалық қасиеттері бойынша қарама-қайшы нәтижелерге әкелді және сондықтан зерттеу сатысында [13-16].

Екінші жағынан, пластмасса өнеркәсібінің дамуымен пластикалық модификацияланған асфальт қазірдің өзінде жол материалдары нарығында орын алып жатыр. Пластмасса асфальттың жоғары температуралық көрсеткіштерін айтарлықтай жақсартып алады, бірақ асфальттың төмен температуралық көрсеткіштерін жақсартып алмайды, оның орнына пластмасса асфальттың төмен температуралық көрсеткіштерін төмендетеді [17]. Полиэтилен (ПЭ) және полипропилен (ПП) жол өнеркәсібі үшін ең тартымды қалдық пластмассалар болып табылады және жолтабандарды азайту үшін жиі қолданылатын қоспалардың бірі болып табылады және әсері жоғары жүктемелерде айқынырақ болады [18]. Авторлар [11] жоғары температуралық сипаттамалары, төмен температурадағы шытынау мен деформацияға төзімділігі айтарлықтай жақсарғанын анықтады. Махарадж бөлшектердің өлшемі мен полиэтилен мөлшерінің қажып, шытынауына төзімділігінің және жолтабанның түзілуіне тұрақтылығы үшін үлкен маңызы бар деген қорытындыға келді [11]. Полиэтиленмен модификациялау қалған деформацияны азайтты, ал модификацияланған асфальт қоспасы қалған деформацияға тамаша төзімділікке ие болды [12, 13]. ПЭ және ПП модификацияланған байланыстырғыштар макромолекулалар мен асфальт компоненттері арасындағы химиялық үйлесімділіктің төмендеуіне байланысты фазалық тұрақтылық мәселелерін тұрақты түрде көрсетеді [14-16]. Сонымен қатар, полиэтилен бөлшектері дұрыс сақталмаған жағдайда асфальт байланыстырғыштан бөлініп кетеді, бұл полиэтиленмен модификацияланған асфальт байланыстырғышты пайдалануды шектейді [17]. Сонымен қатар, полиэтилен бөлшектерімен ғана араласқан кезде асфальтты байланыстырғыштың төмен температуралық сипаттамаларының жақсаруы байқалмайды [18].

Осылайша, битумды пластик және резеңке қалдықтарымен модификациялауды одан әрі зерттеу қажет.

Материалдар мен зерттеу әдістері.

Бастапқы битум ретінде модификацияланбаған МЖБ 70/100 маркалы битумы қолданылды. МЖБ 70/100 маркалы мұнай битумының сипаттамалары *1-кестеде* келтірілген.

Кесте 1 – МЖБ 70/100 маркалы мұнай жол тұтқыр битумының сипаттамасы

№	Көрсеткіштің атауы	МЖБ 70/100 маркасының нормативтік көрсеткіштері	Нақты мәні	Сынау әдістері
1	Иненің ену тереңдігі, төмен емес, мм, 25 °С температурада	87±5	87,2	ҚР СТ 1226
2	Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, төмен емес, °С	45,8±1,6	45,85	ҚР СТ 1227
3	Фраас бойынша сынғыштық температурасы, жоғары емес, °	- 21±3	- 21	ҚР СТ 1229
4	Ерігіштігі, төмен емес, %	99,75 ±0,1	99,75	ҚР СТ 1228
5	Тұтану температурасы, төмен емес, °С	334 ±4	335	ҚР СТ 1804

Жол битумын өзгерту үшін зертханада жоғары ығысатын араластырғыштар қолданылады. ELTC модификаторы бар зертханада модификацияланған жол битумын өндіру бірнеше кезеңнен тұрады:

1. Жол битумын пеште 140°С градусқа дейін қыздыру;
2. Жол битумының массасының 20% дейін ELTC модификаторын (бөлікпен) қосып, 6000 айн/мин (айн/мин) 170-180°С жылдамдықпен араластыру;
3. 15 минуттан 90 минутқа дейін араластыру;
4. Модификацияланған жол битумын сынау жүргізіледі.

ELTC құрамында пайдаланылған автокөлік шиналарынан алынған девулканизацияланған резеңке ғана емес, сонымен қатар полиэтилен (ПЭ) және полипропилен (ПП) сияқты тұтындан кейінгі пластмассалар (полимерлер) бар. Кемінде екі өнімді (қалдықты) пайдаланып жасалған мұндай модификатор гибриді модификатор деп аталады. Бұл егілетін құралда резеңке жоғары жұмыс температурасында икемділікті қамтамасыз етеді, ал полиэтилен мен полипропилен қаттылықты қамтамасыз етеді және резеңке бөлшектерді дайындау процесінде бір-бірінен ұстап тұруға көмектеседі (түйіршік түріндегі өнімді жасау және үгітілмеу үшін желімдеу).

Зерттеу нәтижесі. Инновациялық ELTC модификаторын қолдана отырып, зертханада бірнеше модификацияланған битум композициялары жасалды. Модификатордың маңызды функцияларының бірі – жұмсару температурасының жоғарылауы. 2 кестеде композицияны алу температурасы мен араластыру ұзақтығы функциясы ретінде жұмсару температурасының нәтижелері көрсетілген.

2 кестеде көрсетілген нәтижелерден барлық ELTC композициялары жұмсару температурасын жақсартатынын көруге болады. Кейбір қосылыстардың температурасы 80 °С-тан жоғары, яғни жұмсару температурасы модификацияланбаған 70/100 битуммен салыстырғанда 20 °С-тан асады. Мақсат 70/100 модификацияланбаған битумнан жұмсару температурасы кемінде 55 °С болатын модификацияланған битумды алу болғандықтан, нәтижелер ELTC гибриді модификаторын қосу бұл мақсатқа жетіп қана қоймай, одан да жоғары асып түскенін көрсетеді. Маңыздысы, бұл зерттеуде ELTC модификаторы битум массасының 20% қосылды. Сондай-ақ, бұрын қарастырылған әдебиеттерде резеңке битумның массасына 15-25% қосқанда битумның қасиеттерін жақсартатыны анықталды. Бұл модификатордың өте көп мөлшері,

Кесте 2 – Модификацияланған битумның физика-механикалық сипаттамалары

Материал	Материалдың битумдағы мөлшері, %	Дайындау жағдайы		Жұмсару температурасы	Пенетрация	Серпімділікті қалпына келтіру
		Температура, °С	Ұзақтығы, минут	Нәтиже, °С	Нәтиже, 0,1 мм	Нәтиже, %
Модификацияланбаған МЖБ 70/100 мұнай жол битумы	-	-	-	48,3	90,8	0
СБС-пен модификацияланған МЖБ 70/100 + 4%SBS	4%	180	60	76,4	67,3	60
ELTC + 10% ПЭ	20	180	30	65,9	56,2	37
			60	66,3	57,0	39
			90	67,7	56,9	38
ELTC + 20% ПЭ	20	180	30	> 80	35,6	33
ELTC + 40% ПЭ	20	180	30	> 80	26,6	30
ELTC + 10% ПП	20	180	30	65,9	40,4	55
			60	68,1	41,0	54
			90	69,1	39,8	55
		200	180	69,0	42,1	53
			30	67,5	39,3	53
			60	78,5	38,2	52
ELTC + 20% ПП	20	180	90	> 80	39,2	51
			30	72,5	34,0	50
			60	72,4	33,2	51
ELTC + 30% ПП	20	180	90	74,4	34,2	48
			30	> 80	35,7	47
			60	> 80	29,4	47
			90	> 80	28,4	46

өйткені, мысалы, дәстүрлі СБС (стирол бутадиең стирол) модификаторымен мұндай әсерге битум массасының 3-5% қосқанда қол жеткізуге болады.

Сондай-ақ, осы модификацияланған битумның қасиеттері 4% СБС модификацияланған битуммен салыстырылды. 4% модификацияланған СБС битумымен жұмсару температурасы 76,4 °С кұрайды.

Битумды модификациялау 180 және 200 °С температурада жүргізілді. Бұл температура нақты өндіріс жағдайында битумды модификациялауға тән. 2 кестеден модификацияланған битум зертханада әртүрлі араластыру уақыттарын, яғни 30-дан 180 минутқа дейін дайындалғанын көруге болады. Бұл модификацияның минималды уақытын белгілеу үшін жасалды. Жұмсару температурасы 90 минут араластыру ұзақтығына дейін көтерілетінін көруге болады, бірақ содан кейін ол 180 минутқа жеткенде жақсару болмайды. Бұл араластыруды 60-90 минут жасау жеткілікті дегенді білдіреді. 30 минуттан кейін араластыру кезінде жұмсарту температурасы 65,9 °С-қа жететінін ескеру маңызды, бұл модификацияланбаған 70/100 жол битумынан 17 °С жоғары.

Нәтижелер өндірістің жоғары температурасы жұмсару температурасын одан әрі жақсартатынын көрсетеді, мысалы, 180 °C температурада 90 минут араластыру кезінде жұмсару температурасы 69,1 °C және 200 °C температурада араластыру кезінде 90 минут – 80 °C немесе шамамен 11°C градус жоғары болды.

2 кестеде гибриді модификатордағы полипропилен (ПП) мөлшерінің жұмсару температурасына әсері көрсетілген. ПП 10%-дан 20%-ға дейін жоғарылаған кезде жұмсару температурасы 4,5-6 °C-қа көтерілетіні анық. Екінші жағынан, полипропиленнің мөлшері тағы 10 пайызға, яғни 30%-ға артқанда, жұмсару температурасы тағы 5,5-7 градусқа көтеріліп, 80 °C-қа жетеді. [19] жұмыста көрсетілгендей жұмсару нүктесі асфальт байланыстырғыштың жоғары температуралық тұрақтылығын анықтай алады. Көріп отырғанымыздай, ELTC гибриді модификаторымен битумды модификациялау кезінде битумның жоғары температуралық өнімділігі жақсарады.

[20] жұмыс авторлары сонымен қатар қалдық резеңке шиналар мен қайта өңделген полиэтилен концентрациясының модификацияланған асфальт тұтқыр заттың жұмсару температурасына әсерін зерттеді. Жұмсару температурасы негізгі асфальт байланыстырғышқа қосылған резеңке шиналар мен полиэтилен мөлшерінің артуымен өсті және жоғары температурада сипаттамалары жақсарды. ELTC модификаторымен битумды модификациялау механизмі физикалық және химиялық процестердің үйлесімділігі болып табылады. Жоғарыда айтылғандай, девулканизация процесінің негізгі бөлігі селективті катализатор мен компатибилизаторды қолдану болып табылады. Сонымен қатар, катализатор девулканизацияланған резеңке үгінділерді басқа полимерлер мен органикалық компоненттерге «телуге» көмектеседі, бұл резеңке үгінділері мен полимерлердің модификацияланған асфальт байланыстырғышында біркелкі таралуын қамтамасыз етеді және термиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, [20] жұмыста көрсетілгендей, пайдаланылған шиналар резеңкесімен және қайта өңделген полиэтиленмен модификацияланған битумды байланыстырғыштың салмақ жоғалту қисықтары негізінен өзгеріссіз қалды, бұл модификациядан кейін термиялық тұрақтылықтың жақсарғанын дәлелдейді.

Полипропилен (ПП) және полиэтилен (ПЭ) ең көп таралған полимер немесе пластик қалдықтары болып табылады. Бұл материалдар термопластикалық полимерлер, яғни олар температураға байланысты пішінін өзгерте алады, содан кейін қатаяды. Бұл бірнеше рет қайталануы мүмкін. Осының нәтижесінде бұл материал оңай қайта өңделеді. Дегенмен, бұл материалдар резеңке немесе СБС полимерлері сияқты қажетті икемділік қасиеттеріне ие емес, сондықтан олар битумды модификациялау үшін пайдаланылмайды. Бұл зерттеуде ПП және ПЭ девулканизацияланған резеңке немесе резеңке-полимер гибридімен бірге қолданылады. Нәтижелер жұмсару нүктесі бойынша полипропилен мен полиэтилен арасында көп айырмашылық жоқ екенін көрсетті. Араластыру температурасының өзгеруі 1,8 °C дейін құрады (2-кесте).

2 кестеде полимер түріне (ПП және ПЭ) байланысты модификацияланған битум композицияларының 25°C температурасында иненің ену нәтижелері көрсетілген. Нәтижелер бірдей өндіріс жағдайында құрамында 10% полиэтилені бар ELTC бар жол битумы 10% полипропилені бар ELTC-ге қарағанда жұмсақ (тұтқырлығы аз) екенін көрсетті. Құрамында 10% полипропилен бар ELTC құрамдары үшін иненің енуі шамамен 40, ал полиэтилен үшін 56-дан астам мәнді құрады.

2 кестеде ELTC құрамындағы полимер мөлшерінің иненің ену нәтижелеріне әсерін көрсетеді. Алынған нәтижелерден 25°C температурада полимер мөлшерінің

жоғарылауымен ПЭ және ПП екеуінің де иненің ену қабілеті төмендейтінін көруге болады. Бұл тенденция әсіресе ПЭ полимерінде айқын көрінеді, мұнда ELTC + 10% ПЭ кезінде 25 °C температурада иненің енуі 56,2, ал ELTC + 40% ПЭ кезінде 26,6 құрайды. Екінші жағынан, ПП жағдайында 20%-дан 30%-ға дейін ПП ұлғаюымен иненің енуінің 25 °C төмендеуі байқалған жоқ.

Нәтижелер модификаторларды қосу иненің ену мәнін 90,8-ден 26,6-ға дейін төмендететінін көрсетеді. Бұл осы сынақ температурасында (25°C) модификацияланған битум модификацияланбаған битуммен салыстырғанда қаттырақ болады дегенді білдіреді. Модификацияланған битумның дәстүрлі класы 45/80 – 55 болып табылады, мұнда ELTC + 10% ПЭ модификаторы арқылы иненің енуіне 45/80 қол жеткізуге болады, бұл композициялар үшін иненің енуі 56,2-57 құрайды. Композициялардың көпшілігі 45-тен төмен көрсеткішке ие, яғни олар 25/55 класына жатады.

Асфальт байланыстырғыштың енуі асфальт байланыстырғыштың консистенциясын, сондай-ақ оның белгілі бір сынақ температураларындағы тұтқырлығын көрсете алады [21]. [20] жұмыста қолданылған резеңке шиналар мен қайта өңделген полиэтиленнің модификацияланған асфальт байланыстырғыштың енуіне әсерін көрсетті. Қолданылған резеңке шиналар мен қайта өңделген полиэтилен қосылғаннан кейін иненің ену мәні төмендеді.

Қалдық резеңке шиналар мен қайта өңделген полиэтилен қосылғаннан кейін асфальт байланыстырғыштың кейбір молекулалық компоненттері өзгеретіні және кейбір физикалық реакциялардың да орын алғаны, асфальтты байланыстырғыштың қатаюына және оның енуінің төмендеуіне әкелетіні көрсетілді. Сонымен қатар, полимер қалдықтарын енгізу нәтижесінде жүйенің тұтқырлығы жоғарылайды, бұл иненің ену тереңдігін азайтады.

2 кестеде серпімді қалпына келтіру нәтижелерін көрсетеді. Бұл модификацияланған битумның өте маңызды қасиеті, себебі бұл параметр қосылған модификатордың икемділігін жақсартатынын көрсетеді. Алдыңғы нәтижелер модификатор битумның қасиеттеріне әсер етіп, оны қаттырақ ететінін көрсетті. Екінші жағынан, қатты материал сынғыштықты немесе мерзімінен бұрын шытынауды тудыруы мүмкін. Алынған нәтижелер құрамында полипропилен бар ELTC гибридті модификаторларының 25 °C температурада жоғары икемділікке ие немесе икемділігін қалпына келтіретінін көрсетеді. Модификацияланбаған 70/100 битумы осы сынақ жағдайларында икемділік көрсетпейді, ал 4% СБС-пен модификацияланған битум 60% серпімділікті қалпына келтіретінін ескеру маңызды. Полимерлі модификацияланған жол битумының төменгі категориясы 50% серпімділікке ие. ELTC + 10% ПП модификаторы арқылы 54-55% көрсеткішке қол жеткізіледі. Басқа құрамдар икемділікті қалпына келтіруді айтарлықтай аз көрсетеді, яғни шамамен 30-40% көрсетеді. Иілгіштік асфальтты байланыстырғыштың төмен температурада жарықшақтарға төзімділігін көрсетуі мүмкін [22]. [20] жұмыста резеңке шиналардың қалдықтары мен қайта өңделген полиэтилен концентрациясының модификацияланған асфальт байланыстырғыштың иілгіштігіне әсерін көрсетті, бұл кезде полиэтилен мөлшері артқан сайын иілгіштік төмендеді. Жоғарыда айтылғандай, пластмасса асфальттың төмен температуралық сипаттамаларын жақсартпайды, оның орнына пластмасса асфальттың төмен температуралық сипаттамаларын төмендетеді [8, 18]. Иілгіштік резеңке үгіндісінің мөлшерінің жоғарылауымен өсті, бұл полимер қалдықтары мен резеңке үгіндісінің жоғары мөлшерінде олардың және асфальт

байланыстырғыштың жеңіл құрамдас бөлігі арасындағы өзара әрекеттесу күштірек болуына байланысты болуы мүмкін.

Қорытынды:

1. Тәжірибе нәтижелері көрсеткендей, барлық ELTC құрамдары модификацияланған битумның жұмсару температурасын жақсартады және жазда пластикалық деформацияға төзімділігін арттырады. ELTC + 20% ПЭ және ELTC + 30% ПЭ сияқты кейбір құрамдардың жұмсару температурасы 80 °C болды, бұл әдеттегі 70/100 маркалы модификацияланбаған битуммен салыстырғанда жұмсару температурасының 20 °C жоғары жоғарылауын білдіреді.

3. ҚР стандартына сәйкес серпімді қалпына келтіру қабілеті 50% болатын полимерлі модификацияланған жол битумының ең төменгі санатына 70/100 жол битумына 20% ELTC +10% ПП модификаторын қосу арқылы, яғни 54-55% нәтижеге қол жеткізуге болады. Басқа құрамдар икемділікті қалпына келтіруді айтарлықтай аз көрсетеді, яғни шамамен 30-40 % көрсетеді.

4. 25°C температурада иненің ену сынағының нәтижелері модификаторларды қосу ену мәнін 90,8-ден 26,6-ға дейін төмендететінін көрсетеді. Бұл осы сынақ температурасында (25°C) модификацияланған битум модификацияланбаған битуммен салыстырғанда қаттырақ болады дегенді білдіреді.

5. ELTC құрамындағы полимер мөлшері 10%-дан 20%-ға дейін жоғарылағанда жұмсару температурасы 4-5%-ға, ал 20%-дан 30%-ға дейін жоғарылағанда жұмсару температурасы тағы 5-7%-ға артады. 🌐

Қаржыландыру

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

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Zhang, J., Yao, Z., Yu, T., Liu, S., Jiang, H. Experimental evaluation of crumb rubber and polyethylene integrated modified asphalt mixture upon related properties // Road Mater. Pavement Des. - 2019. - Volume 20. – P. 1413–1428. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1447505>
- 2 Sienkiewicz, M., Borzędowska-Labuda, K., Wojtkiewicz, A., Janik, H. Development of methods improving storage stability of bitumen modified with ground tire rubber: a review // Fuel Process. Technol. - 2017. - Volume 159. – P. 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.01.049>
- 3 Hassan, M.M., Aly, R.O., Abdel Aal, S.E., El-Masry, A.M., Fathy, E.S. Mechanochemical devulcanization and gamma irradiation of devulcanized waste rubber/high density polyethylene thermoplastic elastomer // J. Ind. Eng. Chem. – 2013. - Volume 19. – P. 1722–1729. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.02.012>
- 4 Qian, C., Fan, W., Liang, M., He, Y., Ren, S., Lv, X., Nan, G., Luo, H. Rheological properties, storage stability and morphology of CR/SBS composite modified asphalt by high-cured method // Constr. Build. Mater. – 2018. - Volume 193. – P. 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.158>
- 5 Dong, R., Li, J., Wang, S., Laboratory evaluation of pre-devulcanized crumb rubber–modified asphalt as a binder in hot-mix asphalt // J. Mater. Civ. Eng. – 2011. - Volume 23. – P. 1138–1144. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000277](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000277)
- 6 Xu, O., Rangaraju, P.R., Wang, S., Xiao, F. Comparison of rheological properties and hot storage characteristics of asphalt binders modified with devulcanized ground tire rubber

- and other modifiers // *Constr. Build. Mater.* - 2017. - Volume 154. – P. 841–848. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.221>
- 7 Ghasemirad, A., Asgharzadeh, S.M., Tabatabaee, N. A comparative evaluation of crumb rubber and devulcanized rubber modified binders // *Pet. Sci. Technol.* - 2017. - Volume 35. – P. 1091–1096. <https://doi.org/10.1080/10916466.2017.1303717>
 - 8 Zhang, Z., Sun J., Jia M., Ban X., Wang L., Chen L., Huang T. and Liu H. Effects of polyurethane thermoplastic elastomer on properties of asphalt binder and asphalt mixture // *Journal of Materials in Civil Engineering.* – 2021. - Volume 33. – P. 1943-1963 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003591](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003591)
 - 9 V.S. Punith, A. Veeraragavan, Behavior of asphalt concrete mixtures with reclaimed polyethylene as additive // *J. Mater. Civ. Eng.* – 2007. - Volume 19 (6). – P. 500–507.
 - 10 C.Q. Fang, R.E. Yu, Y. Zhang, J.B. Hu, M. Zhang, X.H. Mi. Combined modification of asphalt with polyethylene packaging waste and organophilic montmorillonite // *Polym. Test.* – 2012. - Volume 31 (2). – P. 276–281.
 - 11 C. Maharaj, R. Maharaj, J. Maynard. The effect of polyethylene terephthalate particle size and concentration on the properties of asphalt and bitumen as an additive // *Prog. Rubber Plast. Recycl.* – 2015. - Volume 31 (1). – P. 1–23.
 - 12 T.B. Moghaddam, M. Soltani, M.R. Karim. Evaluation of permanent deformation characteristics of unmodified and polyethylene terephthalate modified asphalt mixtures using dynamic creep test // *Mater. Des.* – 2014. - Volume 53. – P. 317–324.
 - 13 T.B. Moghaddam, M. Soltani, M.R. Karim. Stiffness modulus of polyethylene terephthalate modified asphalt mixture: a statistical analysis of the laboratory testing results // *Mater. Des.* – 2015. - Volume 68. – P. 88–96.
 - 14 Sharma, S., Sharma, S., Upadhyay, N. Composition based physicochemical analysis of modified bitumen by HDPE/LDPE // *Orient. J. Chem.* – 2019. - Volume 35. – P. 1167–1173. <https://doi.org/10.13005/ojc/350336>
 - 15 Porto, M., Caputo, P., Loise, V., Eskandarsefat, S., Teltayev, B., Rossi, C.O. Bitumen and bitumen modification: a review on latest advances // *Appl. Sci.* – 2019. - Volume 9 (4).- P. 742-752 <https://doi.org/10.3390/app9040742>
 - 16 C.Q. Fang, Y. Zhang, Q. Yu, X. Zhou, D.G. Guo, R.E. Yu, et al. Preparation, characterization and hot storage stability of asphalt modified by waste polyethylene packaging // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2013. - Volume 29 (5). – P. 434–438.
 - 17 Y. Kim, T.S. Park, Reinforcement of recycled foamed asphalt using short polypropylene fibers // *Adv. Mater. Sci. Eng.* – 2013. - Volume 1. – P. 903236.
 - 18 K.Z. Yan, H.B. Xu, L.Y. You. Rheological properties of asphalts modified by waste tire rubber and reclaimed low density polyethylene // *Constr. Build. Mater.* – 2015. - Volume 83. – P. 143–149.
 - 19 O. Reyes-Ortiz, L. Fuentes, A. Alvarez. Mechanical response of asphalt mixtures modified with natural wax // *Advanced Characterization of Asphalt and Concrete Materials.* – 2014. - Volume 10. - P. 58–66.
 - 20 Dongdong Gea, Kezhen Yana, Zhanping Youb, Hongbin Xu. Modification mechanism of asphalt binder with waste tire rubber and recycled polyethylene // *Construction and Building Materials.* – 2016. - Volume 126. – P. 66-76
 - 21 R.E. Yu, C.Q. Fang, P. Liu, X.L. Liu, Y. Li. Storage stability and rheological properties of asphalt modified with waste packaging polyethylene and organic montmorillonite // *Appl. Clay Sci.* – 2015. - Volume 104. – P. 1–7.
 - 22 Y.L. Long, Y. Lu, R.H. Zhang. Performance research on one kind of low melting point ep modified warm asphalt mixture // *Civil Engineering and Urban Planning.* – 2012. - Volume 1. – P. 450–457.