

ӘОЖ 665.6
DOI 10. 56525/LDWU1652

РЕЗЕҢКЕ БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аккенжеева Анар, Бусурманова Аккенже, Қуандық Меруерт
Есенов университеті, Ақтау қаласы, Қазақстан,
e-mail:anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz, akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz,
kuandyk.meruyert@yu.edu.kz

Андатпа. Бұл ғылыми зерттеу жұмысы резеңке-битумды байланыстырғыштардың (РББ) құрылымы мен реологиялық қасиеттерін жақсарту мақсатында битумды резеңке ұнтағымен, девулканизацияланған резеңке үгіндісімен модификациялауға бағытталған. Әдеби шолу барысында битумның физика-химиялық қасиеттері, мицеллалық және макромолекулалық құрылым теориялары, резеңке бөлшектерінің битуммен әрекеттесу механизмі және реологиялық өзгерістердің ғылыми негізі жан-жақты қарастырылды.

Тәжірибелік бөлімде 70/100 маркалы битум қолданылып, резеңке үлестерінің әртүрлі мөлшерде қосылуы материалдың жұмсару температурасына, созылғыштығына, пенетрациясына, тұтқырлығына және төмен температуралық морттыққа әсері анықталды. Нәтижелер девулканизацияланған резеңке үгіндісінің битум құрылымына тиімді енгенін, серпімді тор түзетінін және дайын байланыстырғыштың жоғары және төмен температураларда тұрақтылығын арттыратынын көрсетті.

Реологиялық сынақтар (Фраас, сақина-шар, пенетрация, дуктилометрия) модификацияланған битумдардың шөгуге қарсы тұру қабілетінің жоғарылағанын, фазалық бұрыштың азайғанын және комплекс модулінің артқанын көрсетті. Зерттеу нәтижелері резеңкемен модификацияланған битумның жол жамылғыларының ұзақ мерзімді беріктігін арттыруға тиімді екенін дәлелдеді.

Түйін сөздер: резеңке үгіндісі; мұнай битумы; модификация; реологиялық қасиеттер

Кіріспе

Жол құрылысы индустриясы дамыған сайын битумды байланыстырғыштардың сапасын арттыру мәселесі күн тәртібінде тұр. Резеңке-битумды байланыстырғыштарды қолдану осы мәселелерді шешудің тиімді жолдарының бірі болып табылады. Бұл технология қалдық шиналарды қайта өңдеуге мүмкіндік береді және жол жамылғысының беріктігі мен ұзақ мерзімділігін арттырады [1]. Дәстүрлі битум жолдың қызмет ету мерзімінде жарықтарға, температуралық ауытқуларға және механикалық жүктемелерге сезімтал келеді. Резеңке бөлшектерін қосу оның икемділігін арттырып, температураға төзімділігін жақсартады және сонымен қатар, битумның тұрақтылығын күшейтеді [2]. Битумды резеңке бөлшектерімен модификациялау – жол құрылысы материалдарының қасиеттерін жақсартудың тиімді тәсілдерінің бірі. Бұл әдіс битумның механикалық, термотұрақтылық және ұзақ мерзімді беріктік қасиеттерін арттырып қана қоймай, экологиялық тұрғыдан да тиімді, себебі пайдаланылған автокөлік шиналарын қайта өңдеуге мүмкіндік береді [3,4].

Жыл сайын миллиондаған автомобиль шиналары полигондарда жиналып, қоршаған ортаға кері әсерін тигізеді. Шиналарды жағу кезінде улы газдар бөлініп, топырақ пен судың ластану қаупін арттырады. Қалдық шиналарды қайта өңдеп, битумды модификациялауға қолдану осы экологиялық мәселелерді шешудің ең тиімді тәсілдерінің бірі ретінде қарастырылады. Шиналардың құрамында ұзақ уақыт бойы шірімейтін химиялық қосылыстар бар. Олар атмосфераға ауыр металл бөлшектері мен басқа да токсиндерді шығарады. Резеңке-битумды байланыстырғыштарды жасау арқылы бұл қалдықтар пайдалы ресурстарға айналады.

Резеңке модификацияланған битумды пайдалану жолдың техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады. Оның беріктігі мен икемділігі арқасында жол жамылғысы ұзақ қызмет етеді. Ауыр жүк тасымалдауға арналған жолдарда бұл шешімнің тиімділігі ерекше байқалады. Дәстүрлі битумды басқа синтетикалық полимерлермен (мысалы, SBS, EVA) модификациялау жоғары шығындарды талап етеді [5]. Ал резеңке үгінділерін қолдану – экономикалық тиімді балама. Бұл әдіс Қазақстан сияқты шикізат базасы кең елдерде қолжетімді және тиімді.

Резеңке-битумды байланыстырғыштарды пайдалану туралы зерттеулер соңғы онжылдықта қарқынды дамуда. Зерттеулер көрсеткендей, резеңкенің битуммен әрекеттесу процесін толығырақ түсіну жол жамылғысының сапасын арттыруға көмектеседі. Қазақстан жағдайында бұл әдіс суық климаттық аймақтарда жолдардың жарықтарға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеуде қолданылған бастапқы материалдар ретінде 70/100 маркалы мұнай битумы, сондай-ақ қайта өңделген автокөлік шиналарынан алынған резеңке ұнтағы қолданылды.

70/100 маркалы мұнай битумы ауыр мұнай қалдықтарын айдау және кейіннен тотығу әдісімен алынатын битум түрі. Бұл битум біртекті құрылымды; қою қоңырдан қара түске дейін өзгереді; жұмсару температурасы (сақина мен шар әдісі): 46–48 °С; пенетрация көрсеткіші (ену тереңдігі) 25 °С кезінде: 75–90 (0,1 мм); морттық температура (Фраас әдісімен): -7...-8 °С; созылғыштығы – 110–150 см; тұтқырлық 135 °С кезінде: 0,3–0,5 Па·с.

Химиялық құрамы: ароматты майлар (40–55%), шайырлар (20–30%), асфальтендер (10–20%) және қаныққан көмірсутектер (5–10%). Бұл құрам битумның жоғары механикалық беріктігі мен термотұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Резеңке ұнтағы – пайдаланылған автокөлік шиналарын қайта өңдеу нәтижесінде алынған материал. Бұл зерттеуде ұсақ резеңке үгіндісі (бөлшек мөлшері <0,5 мм) (ЭкоШина, Шымкент, Қазақстан) механикалық ұнтақтау арқылы жарамдылық мерзімі біткен автомобиль шиналарынан алынған. Негізгі қасиеттері – жоғары қаттылық және серпімділік; термиялық және химиялық төзімділік; битум құрамындағы ароматты майларды сіңіріп, тозуға қарсы тұрақтылықты арттыру қабілеті; күйе мөлшерінің жоғары болуы механикалық беріктік пен температура тұрақтылығын жақсартады.

Резеңке бөлшектерінің бөлшек өлшемі, морфологиялық біртектілігі және химиялық құрамының тұрақтылығы модификацияланған битум қасиеттеріне тікелей әсер етеді.

70/100 маркалы мұнай жол битумының сипаттамасы 1-кестеде келтірілген.

Зерттеу нәтижелері МЖБ 70/100 маркалы мұнай жолының тұтқыр битумының нақты сипаттамалары ҚР СТ 1373-2013 талаптарына сәйкес келетінін көрсетті.

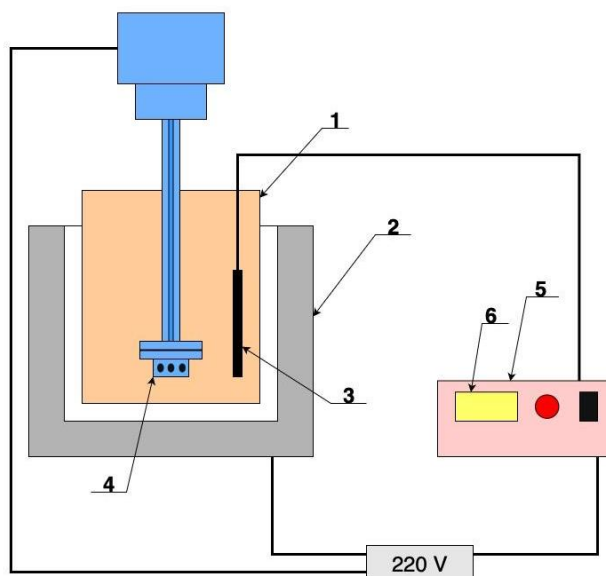
Кесте 1 – МЖБ 70/100 маркалы мұнай жолының тұтқыр битумының сипаттамалары

№	Көрсеткіштің атауы	МЖБ 70/100	Нақты мәні	Тест әдісі
1	25 °С пенетрация, төмен емес, мм	71-100	79	ҚР СТ 1226
2	0 °С пенетрация, төмен емес, мм	22	23	
3	Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, °С, төмен емес	47	47	ҚР СТ 1227
4	25 °С температурада созылғыштық, см, кем емес	75	>150	ҚР СТ 1374
5	0 °С температурада созылғыштық, см, кем емес	3,7	4,6	
6	Динамикалық тұтқырлық 60 °С, Па·с, кем емес	145	240	ҚР СТ 1211
7	Кинематикалық тұтқырлық 135 °С, мм ² /с, кем емес	250	434	ҚР СТ 1210
8	Тұтану температурасы °С, төмен емес	230	286	ҚР СТ 1804
9	Фраас бойынша сынғыштық температурасы, °С, жоғары емес	-20	-22	ҚР СТ 1229

10	Пенетрация индексі	-0,1-ден +1,0-ге дейін	-0,9	
11	Ерігіштігі %, кем емес	99,0	99,9	ҚР СТ 1228
12	Парафин мөлшері %, жоғары емес	2.5	0,3	ҚР СТ 1230

Битумды модификациялау үшін зертханада FLC-IV маркалы жоғары ығысу араластырғыш эмульсатордан, араластырғыштан, термометрден тұратын араластыру жабдығы қолданылды.

Битумды модификациялау битумды модификациялау қондырғысында жүргізілді, оның схемасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Битумды модификациялау қондырғысының схемасы: 1 – реактор; 2 – электр пеші; 3 – термометр; 4 – жоғары ығысу араластырғышы; 5 – жоғары ығысу араластырғыштың жылдамдығын реттегіші; 6 – температураның автоматты реттегіші

Қондырғы ұзындығы 20 см және ішкі диаметрі 15 см цилиндрлік реактордан (1) тұрады. Реактор электр пешінің (2) көмегімен қызады. Реактордағы температураны анықтау және қолдау үшін температура реттегішіне қосылған термометр (3) бар. Битумды резеңке үгіндісімен араластыру жылдамдығы араластырғышпен реттеледі. Жоғары ығысу араластырғышының (4) айналу жылдамдығы реттегішпен (5) реттеледі. Қыздыруды реттеу температура реттегіші (6) арқылы пештің қуат кернеуін арттыру арқылы жүзеге асырылады, процестің температурасы сандық дисплей арқылы ұсынылады.

Модификацияланған битумның өлшендісі орташа есеппен 170-200 г құрады, талдау жүргізу үшін сынама дайындау келесі тәртіппен жүргізілді. Модификациялау процесін жүргізер алдында битум үлгісі қозғалатын күйге дейін ерітілді (140°C жоғары емес температурада) және резеңке үгіндісі қалдықтары баяу қосылды. Содан кейін резеңке битум мен қалдықтардың қоспасына қосып, қоспаны біркелкі болғанша тұрақты араластырып, қыздырады. Температура 180-190 °C аралығында сақталды, модификатордың түріне байланысты материалдар 60 минуттан 180 минутқа дейін араластырылды.

Модификацияланған битум байланыстырғыштардың дайындалған қоспаларының сәйкестігін анықтау үшін келесі негізгі физикалық-механикалық сипаттамалар: жұмсару температурасы, иненің ену тереңдігі (пенетрация), созылу (икемділік) және Фраас сынғыштық температурасы анықталды. Жұмсару температурасы ҚР СТ 1227 бойынша «Сақина және шар» әдісімен анықталды. Пенетрацияны ҚР СТ 1226 бойынша пенетрометрмен анықталды. Созылғыштық битумның жабысуын (адгезиясын) жанама түрде

сипаттайды және оның құрамдас бөліктерінің табиғатымен байланысты. Созылу ҚР СТ 1374 бойынша ЦКБ-974Н дуктилометрi арқылы анықталды. Фраас сынғыштық температурасы битумның сынғыштық температурасын анықтауға арналған АТХ-04 аппаратының көмегімен анықталды.

Нәтижелер және талдау

Кәдімгі резеңке үгіндісі (КРҮ) мен МЖБ 100/130 маркалы мұнай жол битумын құрамы БНД 100/130- 95% КРҮ – 5% ; БНД 100/130- 90% КРҮ - 10% ; БНД 100/130- 85% КРҮ - 15% ; БНД 100/130- 80% КРҮ - 20% ; БНД 100/130- 75% КРҮ - 25% болатын модификацияланған битумдар алынды. КРҮ битум қасиеттерін айтарлықтай өзгертетіні байқалды (2-кесте).

Кесте 2 - Кәдімгі (КРҮ) және девулканизацияланған резеңке үгінділері (ДРҮ) қосылған БНД 100/130 маркалы тұтқыр мұнай жол битумын модификациялау нәтижелері

Құрамы	Сақина мен шар бойынша жұмсару температурасы, төмен емес, °С	25 °С иненің ену тереңдігі, төмен емес, мм	25 °С созылғыштығы, кем емес, см	Фраас бойынша сынғыштық температурасы, жоғары емес, °С
БНД 100/130	44	113	150	-24
БНД 100/130 - 95% КРҮ - 5%	45,8	69	139,7	-17,7
БНД 100/130 - 95% ДРҮ - 5%	55,7	117	63,2	-18,8
БНД 100/130 - 90% КРҮ - 10%	54,5	65	115,8	-18,6
БНД 100/130 - 90% ДРҮ - 10%	64,5	105	48,4	-19,5
БНД 100/130 - 85% КРҮ - 15%	56,8	63	53	-19,1
БНД 100/130 - 85% ДРҮ - 15%	61	94	37	-26,5
БНД 100/130 - 80% КРҮ - 20%	61,9	60	21,9	-20,3
БНД 100/130 - 80% ДРҮ - 20%	63,5	83	33	-34
БНД 100/130 - 75% КРҮ - 25%	65,6	56,3	15,6	-30,6
БНД 100/130 - 75% ДРҮ - 25%	67,1	72	25	-27,7

Кестеде БНД 100/130 маркалы мұнай жол битумын кәдімгі резеңке ұнтағы (КРҮ) және девулканизацияланған резеңке үгінділері (ДРҮ) арқылы модификациялау нәтижелері көрсетілген. Модификация үлесі 5%-дан 25%-ға дейін өзгертіліп, материалдың негізгі физика-механикалық көрсеткіштерінің динамикасы салыстырмалы түрде талданған.

Сақина–шар сынағы бойынша жұмсару температурасы бастапқы битумда 44 °С болса, КРҮ қолданғанда бұл көрсеткіш 45–65 °С аралығындағы мәндерге, ал ДРҮ қолданысында 55–67 °С аралығына дейін артқаны байқалады. Бұл ДРҮ бөлшектерінің битум құрылымына

анағұрлым тиімді енгенін және жоғары температурада материалдың жұмсару қабілеті төмендейтінін дәлелдейді.

Пенетрация нәтижелері бойынша КРҮ қосылған үлгілерде игенің ену тереңдігі айтарлықтай төмендеген (113-тен 56,3 мм-ге дейін), яғни материал қатая түседі. ДРҮ енгізу кезінде пенетрация бастапқы мәннен жоғары деңгейде сақталады (117–72 мм), бұл девулканизацияланған резеңкенің битумды қатайтқанымен бірге оның серпімділік қасиеттерін сақтай алатынын көрсетеді.

Созылғыштық мәндері бойынша КРҮ енгізілген үлгілер бастапқы битуммен салыстырғанда біртіндеп төмендейді (150 см → 15,6 см), ал ДРҮ енгізу кезінде созылғыштық салыстырмалы түрде төмен болғанымен (63,2–25 см), материалдың серпімділік қасиетін сақтайтын құрылым түзетіні байқалады. Бұл ДРҮ-дің битумда макромолекулалық тор түзу қабілетіне байланысты.

Фраас температурасы бойынша КРҮ енгізілген үлгілерде көрсеткіш $-17...-30$ °С шамасында өзгерсе, ДРҮ қолданылған үлгілерде сынғыштық температурасының едәуір төмендеуі байқалады ($-18,8$ °С → -34 °С). Бұл нәтижелер ДРҮ модификациясы төмен температуралық морттықты азайтып, материалдың суық климат жағдайларында жұмыс қабілетін арттыратынын көрсетеді.

Жалпы алғанда, кесте нәтижелері девулканизацияланған резеңке үгінділерінің (ДРҮ) кәдімгі резеңке ұнтағына (КРҮ) қарағанда битум құрылымына белсенді еніп, жоғары температуралық тұрақтылықты, адгезияны және төмен температуралық серпімділікті сақтай отырып, материалдың реологиялық қасиеттерін айтарлықтай жақсартатынын дәлелдейді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып мынадай қорытындыға келе аламыз:

1. Девулканизацияланған резеңке үгіндісі битумды модификациялауда ең тиімді қоспа болып табылады.
2. ДРҮ қосылған битум жоғары температурада төзімді, төмен температурада икемді болып қалып, жол жабындарының климаттық төзімділігін арттырады.
3. КРҮ қолдану арқылы алынған битум жоғары температураға төзімді болғанымен, төмен температурадағы қасиеттері нашарлайды.
4. Зерттеу нәтижелері резеңке модификаторының оңтайлы мөлшері 10–20% шегінде екенін көрсетті.
5. Девулканизацияланған резеңке бөлшектерінің физика-химиялық активтілігі битумның құрылымдық тұрақтылығын күшейтіп, реологиялық қасиеттерін жақсарттады.
6. Массасы 15-25% қалыптырезеңкеүгіндісі (КРҮ) бар байланыстырғыштар РББ 50/70 сипаттамаларына сәйкес келеді: жұмсару нүктесі (сақина және шар) ≥ 56 °С, 25 °С пенетрациясы 50-70, созылғыштық ≥ 10 см және Фраас бойынша сынғыштық температурасы ≤ -15 °С.
7. Массасы 5-25% девулканизацияланған резеңке үгіндісі (ДРҮ) бар байланыстырғыштар қазақстандықРББ 70/100 стандартына сәйкес келеді: жұмсару температурасы ≥ 52 °С, 25 °С пенетрациясы 71-100, созылғыштық ≥ 12 см және Фраас бойынша сынғыштық температурасы ≤ -18 °С.

Жалпы алғанда, модификацияланған резеңке-битумды байланыстырғыштар дәстүрлі битуммен салыстырғанда жоғары реологиялық өнімділік көрсетті. Бұл олардың жол құрылысында, әсіресе климаттық айырмашылығы бар аймақтарда, ұзақмерзімді және сенімді жабындар жасауға тиімділігін дәлелдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Akkenzheyeva A., Haritonovs V., Bussurmanova A., Merijs-Meri R., Imanbayev Y., Riekstins A., Serikbayeva A., Sydykov S., Aimova M., Mustapayeva G. Study of the Viscoelastic and Rheological Properties of Rubber-Bitumen Binders Obtained from Rubber Waste // *Polymers Journal*. -2024.
2. *International Journal of Pavement Engineering*. Investigating the performance-related properties of crumb rubber modified bitumen using rheology-based tests. - 2020.
3. Abdelrahman M. Controlling performance of crumb rubber-modified binders through addition of polymer modifiers // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. - 2006. - Vol.1962(1). - P.64–70.
4. Abdelrahman M.A., Carpenter S.H. Mechanism of interaction of asphalt cement with crumb rubber modifier // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. - 1999. - Vol.1661(1). - P.106–113.
5. Airey G., Singleton T., Collop A. Properties of polymer modified bitumen after rubber-bitumen interaction // *Journal of Materials in Civil Engineering*. - 2002. - Vol.14(4). - P.344–354.
6. Kaloush K.E. Asphalt rubber: performance tests and pavement design issues // *Construction and Building Materials*. - 2014. - Vol.67. - P.258–264.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗИНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аккенжеева Анар, Бусурманова Аккенже, Қуандық Меруерт

Университет Есенова, г.Ақтау, Казахстан

e-mail: anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz, akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz,

kuandyk.meruyert@yu.edu.kz

Аннотация. Данное исследование посвящено модификации битумных вяжущих с использованием резиновой крошки, девулканизированной резины, эпоксидной смолы и пластификаторов с целью улучшения структуры и реологических свойств резинобитумных вяжущих (РБВ). В литературном обзоре рассмотрены физико-химические свойства битумов, мицеллярная и макромолекулярная теории строения, механизмы взаимодействия резины с битумом и влияние модификации на реологические характеристики.

В экспериментальной части исследованы битум марки 70/100 с различными содержаниями резиновой крошки. Определены изменения температуры размягчения, растяжимости, пенетрации, вязкости и хрупкости при низких температурах. Установлено, что девулканизированная резина лучше взаимодействует с битумом, формируя однородную эластичную структуру и обеспечивая улучшенные характеристики при высоких и низких температурах.

Реологические испытания (Fraass, Ring-and-Ball, пенетрация, дуктилометрия) показали повышение устойчивости к колееобразованию, снижение фазового угла и увеличение комплексного модуля. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность использования резиновой модификации битума для увеличения долговечности дорожных покрытий.

Ключевые слова: резиновая крошка; нефтяной битум; модификация; реологические свойства

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF RUBBER-BITUMEN BINDERS

Akkenzheyeva Anar, Bussurmanova Akkenzhe, Kuandyk Meruyert

University Yessenov, Aktau, Kazakhstan

e-mail: anar.akkenzheyeva@yu.edu.kz, akkenzhe.bussurmanova@yu.edu.kz,
kuandyk.meruyert@yu.edu.kz

Annotation. This research focuses on the modification of petroleum bitumen using crumb rubber, devulcanized rubber, epoxy resin, and plasticizers to improve the structural and rheological properties of rubber-modified bituminous binders (RMB). The literature review covers the physicochemical characteristics of bitumen, micellar and macromolecular structural theories, the interaction mechanisms between rubber and bitumen, and the scientific basis for rheological changes during modification.

In the experimental section, bitumen grade 70/100 was modified with various amounts of rubber additives. The effects on softening point, ductility, penetration, viscosity, and low-temperature brittleness were evaluated. Results demonstrated that devulcanized rubber interacts more effectively with bitumen, forming a uniform elastic network and significantly enhancing both high- and low-temperature performance. Rheological testing (Fraass, Ring-and-Ball, penetration, ductility) showed increased rutting resistance, reduced phase angle, and higher complex modulus in modified binders. The findings confirm that rubber-modified bitumen provides improved durability and long-term performance for road pavements.

Key words: rubber crumb; petroleum bitumen; modification; rheological properties