ГОРЕНИЕ И ПЛАЗМОХИМИЯ 24 (2026) 425–434
Combustion and Plasma Chemistry https:cpc-journal.kz/

МРНТИ 61.51.37 https://doi.org/10.18321/cpc24(3)425-434

Пайдаланылған мотор және өсімдік майларын мұнай битумдарын жасартатын қоспалар ретінде пайдалану

Д.Б. Әбдіхан[1,2], Д.Ж. Копбосынова[2], Т. Серік[1], А.Н. Қыдырәлі[1], Е.К. Онгарбаев[1,2], А.Б. Жамболова[1*]

[1]Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр к., 172, Алматы, Қазақстан
[2]Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даң., 71, Алматы, Қазақстан

ARTICLE INFO

Алынған
31.07.2026

Түзетілген түрде алынды
12.08.2026

Қабылданды
31.08.2026

Түйін сөздер:
мұнай жол битумы; қалпына келтіру; пайдаланылған мотор майы; пайдаланылған өсімдік майы

АҢДАТПА

Асфальтбетон құрамындағы битум атмосфералық-климаттық факторлардың әсерінен ескіру үдерісіне ұшырайды. Нәтижесінде битумның компоненттік құрамы өзгеріске ұшырайды, жекелеген фракциялары өзара түрленеді. Соның әсерінен битум құрамындағы мальтендер бірігіп асфальтендерге айналады. Битум құрамындағы асфальтендердің мөлшерінің көбеюі иілгіштігінің кемуіне және сынғыштығының артуына алып келеді. Бұл жұмыста ескіруге ұшыраған МЖБ 100/130 және МЖБ 70/100 маркалы битумдардың физика-механикалық қасиеттерін қалпына келтіру агенттері ретінде пайдаланылған өсімдік майы мен 5W-30 және 10W-40 мотор майларының әсері қарастырылды. Ескіру процесін модельдеу 85 және 225 мин арнайы айналмалы жұқа қабықшалы пеште жүргізілді. Қалпына келтіретін агенттердің құрамындағы функционалдық топтар ИҚ-спектроскопия әдісі арқылы анықталды. Қалпына келтіргіш агенттердің әсері битумдардың ескіруге дейінгі және одан кейінгі физика-механикалық қасиеттерін (жұмсару температурасы, иненің ену тереңдігі, созылғыштығы, морт сыну температурасы, ашық тигельдегі тұтану температурасы) анықтау арқылы дәлелденді. Қалпына келтіретін агенттердің массалық үлесі артқан сайын үлгілердің жұмсару температурасының төмендеуі, иненің ену тереңдігі мен созылғыштығы мәндері артуы байқалады. Бұл олардың жұмсартқыш ретіндегі тиімділігін растайды, ескірген битумның тотыққан және ескірген құрылымын жұмсартады. Қоспалардың оңтайлы мөлшері 3-6 мас.%, ал терең ескіруге ұшыраған үлгілер үшін 9-12 мас.% құрады. Зерттелген реювенаторлардың үш түрін де қосу тұтану температурасының шамалы төмендеуімен қатар жүреді, алайда барлық сынақ сериялларында бұл көрсеткіш 300 °С-тан жоғары деңгейде қалады. Алынған нәтижелер зерттелген агенттердің жол битумдарын қалпына келтіру және қайта өңдеуде қолдануда болашағы зор екенін дәлелдейді.

1. Кіріспе

Мұнай битумы көлік жолдарын төсеу, реконструкциялау және пайдалану кезінде қолданылатын асфальтбетон қоспаларының негізгі тұтқыр компоненті болып табылады. Өндіріс циклі кезінде – асфальт өндіру зауытында қыздырудан бастап төсеуге және ұзақ мерзімді қызмет көрсетуге дейін битум термиялық-тотықтырғыш ескіруге ұшырайды, бұл оның физика-химиялық құрылымын қайтымсыз өзгертеді, ал ультракүлгін сәуле, температураның өзгерістері, ылғалдылық және атмосфералық оттегі сияқты климаттық факторлардың, сондай-ақ циклдік көлік жүктемелерінің әсерінен оның пайдалану қасиеттерін нашарлатады [1].

Битумның сақина және шар (СжШ) әдісімен анықталатын жұмсару температурасының және морттылық температурасының жоғарылауы, иненің ену тереңдігі (пенетрация) мен созылғыштығының төмендеуі ескіру кезіндегі қаттылықтың өсуін көрсетеді. Бұл өзгерістердің молекулалық негізі ароматты қосылыстардың бүйір тізбектерінің тотығу реакциялары, асфаль-

*Corresponding author: A.B. Zhambolova; E-mail address: zhambolova.ainur@mail.ru

© The Author(s). This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

тен ассоциацияларының конденсациясы және өзара байланысы, сондай-ақ жеңіл мальтен фракцияларының буланууы болып табылады [2]. Жол жабынындағы термиялық жарықшақтар, ойық түзілу және қабаттардың ажырауы ескіру салдары болып табылады, бұл жол жабынының қызмет уақытын айтарлықтай қысқартады [3, 4].

Ұзақ мерзімді ескіруді модельдеу үшін дәстүрлі түрде арнайы айналмалы жұқа қабықшалы пеште (RTFO) қыздыру кезеңінен кейін арнайы қысымда ескіру ыдысында (PAV) ескіру әдісі қолданылады [5]. Алайда, соңғы жылдары әлемдік материалтану, коллоидтық химия және жол инженериясында түрлендірілген, ұзартылған RTFOT модельдеуін қолданудың тұрақты әдіснамалық тенденциясы қалыптасты, онда үлгінің ескіру уақыты үш есеге – 75-тен 225 мин дейін артады [6].

Ескіру ұзақтығын 225 мин дейін арттыру зерттеушілерге аса қатты, жоғары дәрежеде тотыққан битум алуға мүмкіндік береді. Ескірген битумның реологиялық және микроқұрылымдық күйі асфальтбетон жабынының 10-12 жыл үздіксіз пайдалану кезіндегі табиғи терең ескіру үдерістерін жеткілікті түрде модельдеуге мүмкіндік береді. Бұл уақыт аралығы өте маңызды, себебі 10-12 жылдан кейін жол жабыны әдетте шаршағыштық төзімділігінің шегіне жетеді, сынғыш болып, жол жабынында жарықшақтар пайда болады және кейіннен қайта өңдеу үшін жабынның жоғары қабатын арнайы жол машинасымен алуды қажет етеді [6].

Битумның функционалдық қасиеттерін қалпына келтірудің перспективалы тәсілдерінің бірі – ескіруден туындаған өзгерістерді ішінара кері қалпына келтіре алатын қоспаларды (жасартатын заттарды) пайдалану. Мұндай агенттер жеңіл ароматты және алифатты молекулаларды қатты асфальтен матрицасына диффузиялау арқылы жұмыс істейді: олар мальтен фазасын жұмсартады, асфальтен арасындағы молекулааралық байланыстарды кеңейтеді және ішінара бұзады, нәтижесінде битумның коллоидты құрылымындағы золь-гель тепе-теңдігін қалпына келтіреді [7, 8].

Соңғы онжылдықта пайдаланылған мотор майлары (ММ) және өсімдік майлары (ӨМ) қалпына келтіретін агенттердің қолжетімді, арзан және экологиялық таза көздері ретінде ғалымдардың қызығушылығын тудырды [9, 10]. Пайдаланылған мотор майларының негізін минералды май құрамында битумның мальтен фазасымен үйлесімді ароматты қосылыстар жиынтығы құрайды, ал өсімдік майларында асфальтендердің полярлық компоненттеріне жоғары химиялық бейімділік көрсететін қанықпаған байланыстары бар ұзын тізбекті триглицеридтер бар [11, 12].

Пайдаланылған майларды жасартатын агенттер ретінде қолдану физика-механикалық және химиялық зерттеулермен расталады: олар битумның коллоидтық құрылымын қалпына келтіреді, асфальтен агломераттарын азайтады және жылжымалы фракцияларды арттырады, бұл иненің ену тереңдігін жақсартады, жұмсару температурасын төмендетеді және байланыстырушы заттың реологиясын ішінара қалпына келтіреді. Фурье түрлендіруі бар инфрақызыл спектроскопия (FTIR) мен гель өтімділік хроматография (GPC) тотыққан топтардың азаюын және молекулалық салмақтың таралуының жақсаруын көрсетеді, бұл құрылымдық қалпына келтіруді дәлелдейді. Дегенмен, көп мөлшерде қосу ойық түзілуге төзімділік пен термиялық тұрақтылықты бұзуы мүмкін, бұл құрам мен үйлесімді түрлендіргіштерді дәл таңдауды қажет етеді [13].

Тан және т.б. (2025) ескірген битумдарға арналған минералды (Min-R) және биомай негізіндегі (Bio-R) жасартатын агенттерді реологиялық және микроқұрылымдық әдістерді қолдана отырып зерттеді. Ескірген битум пеште (80 °C, 400 Вт, 50% ылғалдылық) 7 күн бойы сақтау арқылы алынды, бұл шамамен жол жабынының 10 жылдық толық көлемді қызмет етуіне тең. Жасартатын агенттің оңтайлы мөлшері битумның салмағы бойынша 6%-ды құрады, бұл концентрацияда физикалық қасиеттер бастапқы байланыстырушы зат деңгейіне қалпына келтірілді. Биомай созылғыштықтың айқын қалпына келуін және тұтқырлықтың күштірек (25,9-26,4%-ға) төмендеуін көрсетті, ал минералды май тұтқырлықты аз дәрежеде (18,1-24,6%) төмендетті. Атомдық күштік микроскоптық (AFM) талдау биомай полярлық асфальтен агломераттарының айтарлықтай бөлшектенуіне әкелгенін көрсетті (ара тәрізді құрылымдардың үлесі <2,11%), ал бұл үлес минералды май үшін жоғары болып қалды (39,11%). MSCR (Multi-Stress Creep and Recovery) әдісінің мәліметтері бойынша, биомай тұрақты деформацияға төзімділікті минералды майға қарағанда айтарлықтай төмендеткенін көрсетті (RA@Bio үшін жинақталған иілгіш деформация 0,1 кПа кезінде 1,25-1,75%, ал RA@Min үшін 0,75-1,25%), бұл жоғары температурада ойық түзілуіне бейімділіктің артуын көрсетеді [14].

Сонымен қатар, бұл агенттердің қайта қыздыру кезіндегі термиялық тұрақтылығы, олардың морттылық температурасы мен ашық тигельдегі тұтану температурасының әсері, сондай-ақ

әртүрлі дәрежедегі ескіру кезіндегі қасиеттерін зерттеу өзекті болып қала береді [15]. Бұл мәселелер әсіресе отандық битум маркаларына және Қазақстанның климаттық жағдайларына қатысты өзекті: күрт континенталды климат жол жабындарының ыстыққа және аязға төзімділігіне жоғары талаптар қояды.

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы – пайдаланылған өсімдік майы мен маркалары 5W-30 және 10W-40 мотор майларының әртүрлі дәрежедегі ескіруден кейінгі отандық МЖБ 70/100 және МЖБ 100/130 маркалы битумдары үшін қалпына келтіретін агенттер ретінде тиімділігін кешенді түрде салыстырмалы бағалау. Әдетте бір типті жасартатын агент немесе бір маркалы битумға әсер етуі зерттеледі. Ал бұл жұмыста үш түрлі пайдаланылған майлардың маркасы екі түрлі битумдарға әсері 1-12 масс.% дейін және екі түрлі ескіруден (85 және 225 мин) кейінгі битумдардың қасиеттерінің қалпына келуін зерттелді. Нәтижелерге сәйкес барлық жасартатын агенттердің концентрациясы артқан сайын жұмсару температурасы төмендеп, ал иненің ену тереңдігінің артатыны битумның иілгіштігінің қалпына келуін көрсетеді. Битум қасиеттерінің қалпына келтірудің тиімділігі оның маркасына, ескіру дәрежесіне және қалпына келтіруші агенттердің табиғатына байланысты.

2. Тәжірибелік бөлім

Зерттеу нысандары ретінде «CASPI BITUM» ЖШС (Ақтау, Қазақстан) өндірісінің МЖБ 70/100 маркалы мұнай жол битумы мен «Асфальтобетон 1» ЖШС (Алматы, Қазақстан) өндірген МЖБ 100/130 маркалы мұнай жол битумы пайдаланылды. Битумдардың бастапқы физика-механикалық қасиеттері 1-кестеде келтірілген. Кестедегі мәліметтер бойынша битум үлгілері ҚР СТ 1373-2013 талаптарын қанағаттандырады.

2.1. Ескірген битум үлгілерін алу әдістемесі

Ескірген битум үлгілері EN 12607-1 (AASHTO T240) және ASTM D1754 стандарттарына сәйкес айналмалы жұқа қабыршақты пеште (RTFO B066N1, MATEST, Италия) RTFOT-әдісін (Rolling Thin Film Oven Test) қолдана отырып алынды. Битум үлгілері 163 °C температурада пеште термиялық өңдеуге ұшырады. Ескіру уақыты 85 және 225 мин болды. 85 мин ескіру стандартқа сәйкес келеді, ал уақытты 225 мин дейін арттыру ескірудің тереңірек дәрежесін қамтамасыз етеді. Ауа ағынының жылдамдығы 4±0,2 л/мин, ал айналу жылдамдығы 15 айн/мин тең.

2.2. Ескірген битумды жасарту әдістемесі

Термостатталған стаканда массасы 100 г ескірген битум үлгісі 140 °C-қа дейін қыздырылып, оған пайдаланылған мотор майлары мен өсімдік майы 1-12 мас.% мөлшерінде қосылады. Қоспа механикалық араластырғышпен (IKARW20, Германия) 700 айн/мин жылдамдықпен 30-60 мин бойы араластырылды. Алынған қоспа ыдысқа құйылып, 25 °C температурада термостатталған қараңғы камерада сақталады.

2.3. Пикнометрлік әдіспен майдың тығыздығын анықтау және Дин-Старк әдісімен майлар құрамындағы су мөлешерін анықтау

Пайдаланылған мотор мен өсімдік майларының тығыздығы ASTM D891 сәйкес пикнометрлік әдіспен анықталды. Өлшеулер 25±0,1 °C температурада капиллярлық тығыны бар шыны пикнометрлерді пайдаланып орындалды. Бос пикнометрдің, сондай-ақ дистильденген суы бар пикнометрдің және зерттелетін үлгілердің массасы аналитикалық таразыларда 0,001 г дәлдікпен

1-кесте. Битумдардың физика-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіштер	МЖБ 70/100	МЖБ 100/130	ҚР СТ 1373-2013 талаптары 70/100	ҚР СТ 1373-2013 талаптары 100/130
25 °C-тағы пенетрация, 0,1 мм	89	106	71-100	101-130
Жұмсару температурасы, °C	48,5	45,7	≥45	≥43
25 °C-та созылғыштығы, см	115,8	>150	≥75	≥90
Фраас бойынша морттылық температурасы, °C	-17	-23	≤-20	≤-22
Ашық тигельдегі тұтану температурасы, °C	316	310	≥230	≥230

Ескерту: Жасартатын агенттер ретінде пайдаланылған өсімдік майы (ӨМ), 5W-30 және 10W-40 маркалы пайдаланылған мотор майлары қолданылды.

анықталды. Тығыздық үлгі массасының пикнометрдегі судың массасына қатынасы арқылы есептелді:

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot \rho_{H_2O}$$

мұндағы: m_2 – май үлгісімен пикнометрдің массасы, г; m_0 – бос пикнометрдің массасы, г; m_1 – су үлгісімен пикнометрдің массасы, г; ρ [H_2O] – 25 °C температурадағы судың тығыздығы [0,9982 г/см^3].

Пайдаланылған мотор мен өсімдік майларының су мөлшерін анықтау үшін ASTM D95-13 сәйкес Дин-Старк әдісі қолданылда. Мұнай өнімдерін сынау кезінде колбаға 100,00±1,00 г май және 100 см^3 толуол қосылады, араластырылады және Дин-Старк ыдысында (немесе тұзақта) біріктіріледі. Тығыздығы жоғары су тұзақтың соңында тұнып қалады, ал жеңіл толуол судың маймен бірге колбаға қайта түсуіне жол бермеу үшін бетінде жиналады.

Судың массалық үлесі (X) пайызбен келесі формула бойынша есептеледі:

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100$$

мұндағы: V_0 – қабылдағыш-тұзақтағы су көлемі, см^3; Судың тығыздығы 1 г/см^3 деп есептеледі, сондықтан көлемі сандық жағынан массаға тең, m – пайдаланылған майдың бастапқы алынған үлгісінің массасы, г.

2.4. Инфрақызыл (IR, FTIR) спектроскопия әдісі

Жасартатын агенттердің химиялық құрамы ALPHA II (Bruker, Германия) спектрометрінде Фурье түрлендіретін инфрақызыл спектроскопия (FTIR) әдісімен зерттелді. Талдау 1 см$^{-1}$ аралықпен 24 сканерлеуді қамтыды. Өлшеулер 4000-400 см$^{-1}$ тербеліс жиілігі аралығында жүргізілді.

2.5. Битумдардың физика-механикалық қасиеттерін анықтау әдістері

Битум үлгілерінің физика-механикалық сипаттамалары Қазақстан Республикасының қолданыстағы стандарттарының талаптарына сәйкес айқындалды. Жұмсару температурасы ҚР СТ 1227-2003 бойынша «СмШ» әдісімен КИШ-20 аппаратында (Линтел, Ресей), иненің ену тереңдігі (пенетрация) ҚР СТ 1226-2003 бойынша ПН-10Б (Линтел, Ресей), созылғыштық ҚР СТ 1374-2005 стандартымен 25 °C температурада ДАФ 14-80 аппаратында (Футурум, Ресей), Фраас бойынша морттылық температурасы АТХ-20 (Линтел, Ресей) аппаратында ҚР СТ 1229-2003 бойынша, ашық тигельдегі тұтану температурасы АТВО-20 (Линтел, Ресей) аппаратында ҚР СТ 1804-2008 бойынша анықталды.

2.6. Тәжірибелердің қателіктерін талдау

Битумдардың және жасартылған үлгілердің физика-механикалық сипаттамаларын талдаудағы салыстырмалы қателерді анықтау мемлекеттік стандарттарға сәйкес жүзеге асырылды, оған сәйкес стандартты дәлдікке есептелген үш параллельді анықтау нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні талдау нәтижесінде қабылданады. 95% сенімділік ықтималдық деңгейіндегі екі параллельді анықтау арасындағы рұқсат етілген сәйкессіздіктер ҚР әрбір СТ-дегі кестелерде немесе суреттерде көрсетілген мәндерден аспауы керек.

Ескіру және түрлендіру бойынша тәжірибелердің салыстырмалы қателігін анықтау үшін абсолютті бірдей жағдайларда әрбір процесс үшін үш параллельді тәжірибе жүргізілді. Бұл жағдайда салыстырмалы қателер 5%-дан аспады.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Жұмыста қолданылған майлардың құрамында механикалық қоспалар, су немесе тотығу өнімдері өте аз. Ал мотор майларын темір елеуішпен (0,5-1 мм) өткізгеннен кейін қалдық мөлшері 0,1%-дан аз шықты. Олар жабық ыдыстарда, қараңғыда сақталған. Сондықтан сыртқы факторлар әсері төмен болды. Судың пайдаланылған майлардың құрамындағы мөлшері ASTM D95-13 стандартына сәйкес Дин Старк әдісі арқылы анықталды. Зерттеу нәтижесінде судың массалық үлесі пайдаланылған өсімдік майында – 0,2%, пайдаланылған 5W-30 маркалы мотор майында – 0,7%, ал 10W-40 маркалы мотор майында – 0,8% екені анықталды.

Тәжірибелік зерттеулер барысында пайдаланылған өсімдік майы, сондай-ақ әртүрлі тұтқырлық-температуралық сипаттамалары бар (5W-30 және 10W-40) пайдаланылған мотор майларының тығыздығы 25 °C стандартты температурада пикнометрлік әдіспен анықталды. Алынған тәжірибелік мәліметтер 2-кестеде келтірілген.

Химиялық табиғатына сәйкес пайдаланылған өсімдік майының құрамында май қышқылдарының триглицеридтерінің бар екені оның тығыздығының (914 кг/м^3) мотор майларының тығыздығымен салыстырғанда жоғары болуынан көруге болады.

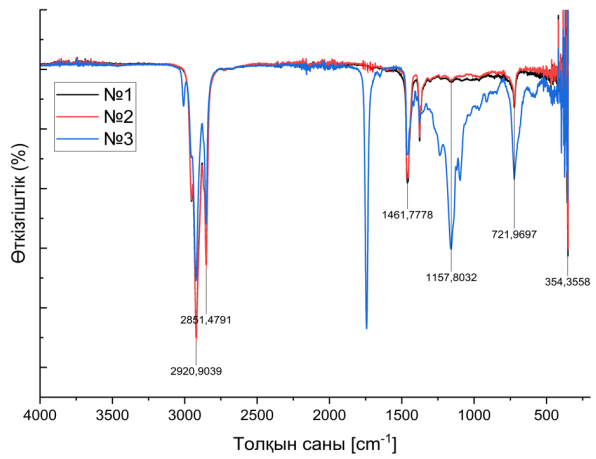
2-кесте. Зерттелген пайдаланылған май үлгілерінің 25 °C температурадағы тығыздығы

Пайдаланылған май үлгісі	25 °C-тағы тығыздығы, кг/м^3
Өсімдік майы	914
5W-30 мотор майы	835
10W-40 мотор майы	860

Пайдаланылған мотор майларының тығыздықтарын салыстырғанда маркасы 10W-40 мотор майы жоғары тығыздыққа (860 кг/м^3) ие, себебі ол әдетте ауыр минералды немесе жартылай синтетикалық компоненттерден тұрады. Маркасы 5W-30 май негізінен жеңіл және тұтқырлығы төмен синтетикалық негізгі шикізаттардан тұратындықтан оның тығыздығы (835 кг/м^3) төмен болды.

ИҚ-спектрометриялық талдау нәтижелері бойынша 1-суретте көрсетілген барлық спектрлерде майлардың көмірсутектік негізі байқалды: C–H топтарының CH_2 валентті тербелістері және CH_3 алифатты көмірсутектерінің 2920,9 см$^{-1}$ және 2851,4 см$^{-1}$, CH_2 деформацияланған тербелістері 1461,7 см$^{-1}$, майларға тән ұзын алкил тізбектерінің (-(CH_2)-) 721,9 см$^{-1}$ толқын сандарында жұтылу жолақтары бар.

10W-40 мотор майында 2920,9 см$^{-1}$ және 2851,4 см$^{-1}$ аймақтарында айқын шыңдар және 1000-1200 см$^{-1}$ аралығында әлсіз шыңдар байқалады. Бұл пайдаланудан кейін майдың көмірсутектік сипатын сақтап қалғанын көрсетеді. 5W-30 мотор майының құрамы 10W-40 майына өте ұқсас, оның спектрі де CH-топтарының жолақтарын көрсетеді. Өсімдік майының спектрі мотор майларының спектрлерінен ерекшеленеді.



1-сурет. Майлардың ИҚ спектрлері: 1 – пайдаланылған мотор майы 10W-40, 2 – пайдаланылған мотор майы 5W-30, 3 – пайдаланылған өсімдік майы.

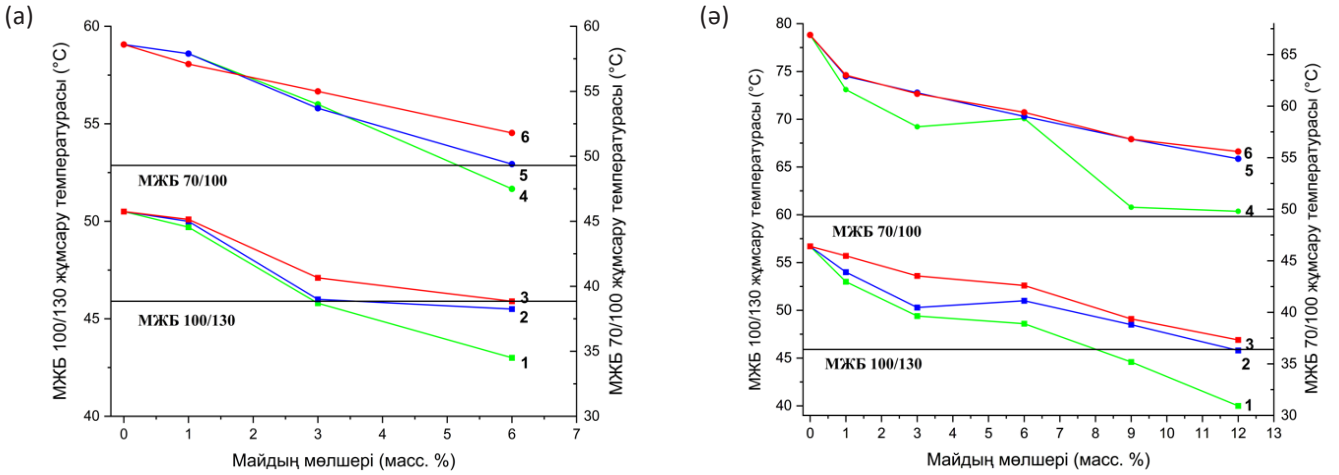
1157,8 см$^{-1}$ аймағындағы күшті жолақ эфирлердегі C–O–C байланысының валенттік тербелістеріне тән. Ол өсімдік майының триглицеридтеріне тән және олардың молекулаларында эфирлік байланыстардың бар екенін растайды. 1200-900 см$^{-1}$ аймағындағы тотыққан май қышқылының эфирлеріне тән жолақтар осы үлгіде айқынырақ көрінеді. 1700-1800 см$^{-1}$ аймағында триглицеридтер мен олардың тотығу өнімдерінің болуына сәйкес келетін өте қарқынды жұтылу жолағы да байқалады. Мотор майларында бұл жолақ байқалмайды.

Пайдаланылған мотор майларының спектрлері минералды/синтетикалық мотор майларына тән тотығу дәрежесі мен қоспа құрамы бойынша ерекшеленеді. Өсімдік майының спектрі триглицеридті табиғатымен және қолдану кезінде тотығу өнімдерінің жиналуымен байланысты C=O (1740 см$^{-1}$) және C–O–C (1157,8 см$^{-1}$) қарқынды жолақтарының болуымен ерекшеленеді. Пайдаланылған өсімдік майының құрамындағы триглицеридтер ескірген битумдағы асфальтендердің агрегациясын төмендетеді. Бұл битум компоненттерінің молекулалық қозғалғыштығының артуына және физика-механикалық қасиеттерін бастапқы қалпына келуіне ықпал етеді.

Битумдардың ескіруге дейін және одан кейін (85 және 225 мин) пайдаланылған майларды 1-12 мас.% мөлшерінде қосқаннан кейінгі физика-механикалық қасиеттері 2-4-суреттерде көрсетілген.

Қалпына келтіретін агенттердің массалық үлесі артқан сайын үлгілердің жұмсару температурасының төмендеуі байқалады (2-сурет). Бұл қолданылған агенттердің жұмсартқыш әсерін көрсетеді. 2а-суреттегі қисықтар пайдаланылған өсімдік майын қосу (1- және 4-қисықтар) ең жоғары жұмсарту әсеріне ие екенін көрсетеді. Өз кезегінде, пайдаланылған минералды мотор майлары (2-, 3-, 5-, 6-қисықтар) қаттылықтың біртіндеп және тұрақты түрде төмендеуін көрсетеді. 85 минут бойы ескіруге ұшыраған МЖБ 100/130 битумы үшін (2а-сурет) өсімдік майы мен 5W-30 майын 3 мас.%-н қосу жұмсару температурасын графиктерде көлденең сызықтармен көрсетілген бастапқы мәндеріне жеткізу үшін жеткілікті болды. Концентрацияның одан әрі артуы, әсіресе өсімдік майын 6 мас.% қосқанда битум шамадан тыс жұмсарып кетеді.

Жұқа қабыршақты айналмалы пеште 225 мин ескіруден кейін алынған битумдардың қасиеттерін қалпына келтіру үшін агенттердің концентрациясын көбейту қажет болды (2ә-сурет). Пайдаланылған 5W-30 және 10W-40 мотор май-



2-сурет. МЖБ 100/130 және МЖБ 70/100 битумының жұмсару температурасының пайдаланылған майлардың (1, 4 – ӨМ; 2, 5 – 5W-30; 3, 6 – 10W-40) мөлшеріне тәуелділігі: а) 85 мин ескіруден кейін, ә) 225 мин ескіруден кейін

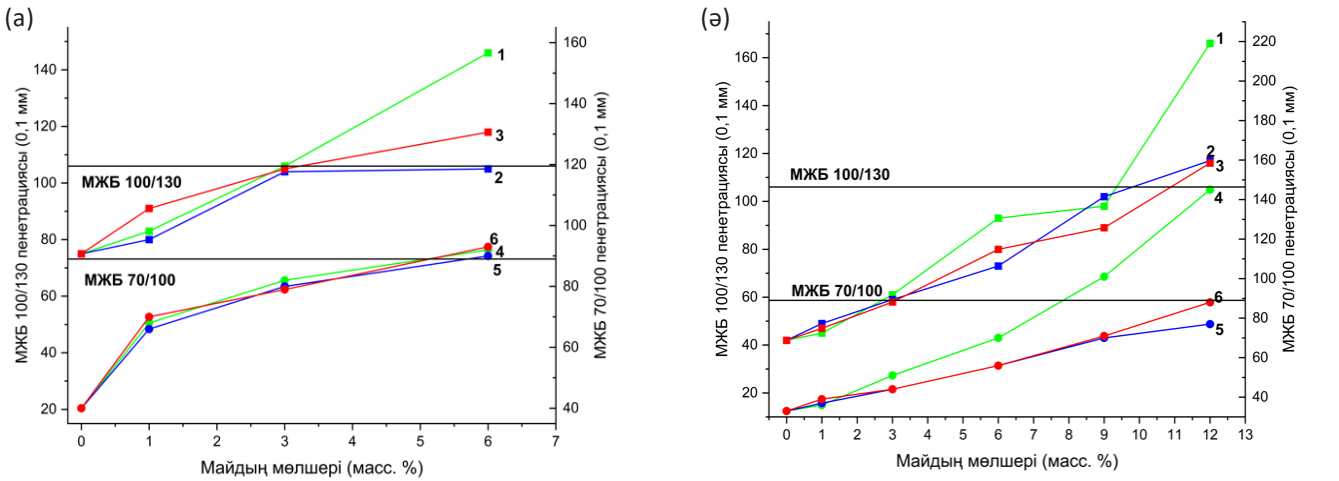
лары терең ескірген битумдардың қаттылығын біртіндеп төмендетеді, мақсатты мәндерге тек 9-12 мас.% концентрациясында ғана жақындайды. Ал пайдаланылған өсімдік майын битумдарға 6-9 мас.% қосқанда бастапқы битум қасиеттеріне жақындайды. Дегенмен, оның максималды

12 мас.% мөлшерінде битумның шамадан тыс жасаруы орын алады.

Иненің ену тереңдігі (пенетрация) – битумның қаттылық дәрежесін сипаттайтын негізгі физикалық параметр. 3-суретте берілген қисықтар үшін жалпы және толығымен тұрақты үрдіс – майлардың концентрациясының артуымен иненің ену тереңдігінің мәндерінің артуы байқалады, бұл олардың жұмсартқыш ретіндегі тиімділігін растайды, ескірген битумның тотыққан және ескірген құрылымын жұмсартады.

Ескіру уақыты 85 мин үлгілердің пенетрация мәндері бойынша қалпына келтіруші агенттердің үшеуі де ұқсас әсер көрсетті (3а-сурет). МЖБ 100/130 битумының пенетрациясын бастапқы мәніне жеткізу үшін кез-келген майдың 3 мас.%-н енгізу жеткілікті. МЖБ 70/100 битумының талап етілген пенетрация мәніне жету үшін майдың қажетті мөлшері шамамен 5-6 мас.%-ды құрады.

225 минут ішінде терең тотығып ескіруге ұшыраған битум үлгілері үшін күрделі өзгерістер байқалады. Жеңіл фракциялардың температура мен ауа ағыны әсерінен буланумен қатар, битум құрамындағы мальтендердің асфальтендерге ауысуы нәтижесінде бастапқы битумдардың пенетрация мәндері 42 және 33·0,1 мәніне дейін төмендейді. Бұл шаманы бастапқы мәндерге жеткізу үшін қалпына келтіретін агенттердің едәуір көп мөлшері қажет. Пайдаланылған 5W-30 және 10W-40 мотор майлары (2-, 3- және 5-, 6-қисықтар) біркелкі әсер берді: МЖБ 100/130 битумы үшін олар мақсатты аймаққа 9-10 мас.% мөлшерін қосқанда жетеді, ал МЖБ 70/100 битумы үшін 12 мас.% қосқанда стандартты нор-



3-сурет. МЖБ 100/130 және МЖБ 70/100 битумының пенетрациясының пайдаланылған майлардың (1, 4 – ӨМ; 2, 5 – 5W-30; 3, 6 – 10W-40) мөлшеріне тәуелділігі: а) 85 мин ескіруден кейін, ә) 225 мин ескіруден кейін.

мативті мәніне жақындайды. Өз кезегінде, пайдаланылған өсімдік майы (1- және 4-қисықтар) өзін шамадан тыс белсенді жұмсартқыш ретінде көрсетеді. Оның МЖБ 70/100 битумға 8-

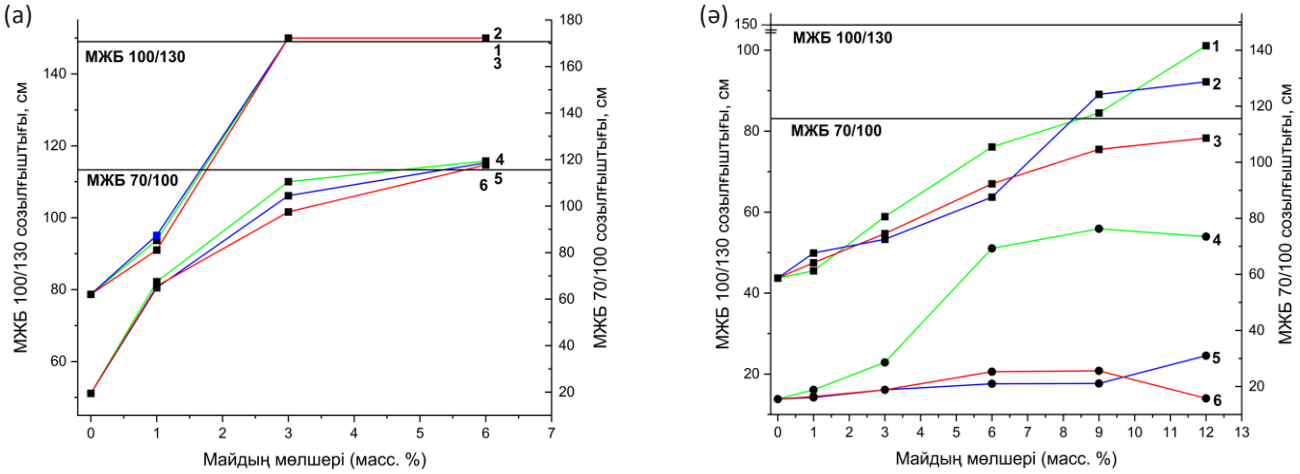
9 мас.% мөлшерін қосқанда қажет көрсеткіштерге жетті, ал МЖБ 100/130 битумына 12 мас.% қосқанда пенетрация мәні айтарлықтай жоғарылап, үлгі жұмсарып кетті. Пайдаланылған мотор майлары болжамды және біркелкі жұмсаруды қамтамасыз етеді, ал өсімдік майы аса тиімді, бірақ сақтықты қажет ететін агент болып табылады: оның артық мөлшері әсіресе терең ескірген битумдардың сұйық күйге өтуіне әкеледі, бұл жол жабынының ығысуға төзімділігін қамтамасыз ету үшін қолайсыз.

Созылғыштық – битумның деформация кезіндегі жарықшақтар түзілуіне қарсы тұру қабілетін, серпімділігін және когезия беріктігін көрсететін маңызды сипаттама (4-сурет). 4а-суреттен 85 мин ескіруден кейінгі МЖБ 100/130 битумының созылғыштығын нормативтік көрсеткіштерге жеткізу үшін кез-келген қалпына келтіретін агенттің шамамен 3 мас.%-н қосу жеткілікті екенін көруге болады. МЖБ 70/100 қатты битумға 6 мас.% май қосылған кезде созылғыштық қалпына келеді. Барлық қалпына келтіретін агенттердің әсері салыстырмалы түрде ұқсас екенін байқауға болады. Бұл тотығудың алғашқы кезеңдерінде минералды пайдаланылған мотор майлары өсімдік майына ұқсас әсер етіп, битумның серпімділігін толығымен қалпына келтіретінін дәлелдейді.

225 мин терең ескіру кезінде битумдар ұзақ уақыт бойы қатты тотығуынан оның құрамындағы асфальтендердің бірігуіне және битумдардың серпімділігін жоғалтуына әкеледі. МЖБ 100/130 битумына 5W-30 және 10W-40 мотор майларын қосқанда (2- және 3-қисықтар) созылғыштық 80-90 см-ге жетіп, бастапқы серпімділікті жартылай ғана қалпына келтіре алады. Өз кезегінде, пайдаланылған өсімдік майын (1-қисық) 12 мас.% мөлшерінде қосқанда серпімділік 140 см-ге жетіп, қалпына келеді.

Мотор майларының құрылымдық шектеулері терең ескірген МЖБ 70/100 қатты битумында айқын көрінеді (4ә-сурет). Өсімдік майы (4-қисық) созылғыштықтың жақсы қалпына келуін қамтамасыз етеді (9 мас.% болғанда 76 см), бірақ ол созылғыштықтың бастапқы нормативті мәніне келтіре алмайды. Алайда, 5W-30 және 10W-40 майлары өте төмен мәндерді көрсетті, оларды қосу созылғыштықты 31 см-ден жоғары көтеруге мүмкіндік бермеді. Сонымен қатар, 10W-40 майының 12 мас.% максималды мөлшерінде қисықтың күрт төмендеуі байқалады. Бұл құрылымдық өзгерістерді көрсетеді: тұтқырлығы жоғары мотор майының шамадан тыс қанығуы битум матрицасының тұтастығын бұзады.

Битумдардың төмен температурада морттылық температурасын анықтау Фраас әдісі бойынша жүргізілді. Түрлендіруді негізгі міндеті бұл көрсеткішті МЖБ 100/130 битумы үшін -23 °C және МЖБ 70/100 битумы үшін -18 °C мәндеріне дейін қалпына келтіру болды. Пеште 85 мин ішінде ескіруге ұшыраған битумдар үшін құрылымды тиімді қалпына келтіру және морт сыну температурасын нормативтік мәндерге қайтару үшін түрлендіргіштің 6 мас.% мөлшерін енгізу жеткілікті болды. Алайда, 225 мин ішінде терең ескіру битумның неғұрлым ауыр және қайтымсыз деградациясын тудырады. Мұндай қатты, жоғары тотыққан үлгілердің төмен температуралық қасиеттерін қалпына келтіру және бастапқы морттылық көр-



4-сурет. МЖБ 100/130 және МЖБ 70/100 битумының созылғыштығының пайдаланылған майлардың (1, 4 – ӨМ; 2, 5 – 5W-30; 3, 6 – 10W-40) мөлшеріне тәуелділігі: а) 85 мин ескіруден кейін, ә) 225 мин ескіруден кейін.

сеткіштеріне қол жеткізу үшін қалпына келтіретін агенттердің айтарлықтай жоғары концентрациясы 9 және 12 мас.% мөлшері қажет болды.

Майлардың битумдардың тұтану температурасына әсері ерекше назар аударуға тұрарлық нәтижелерге алып келді. Жасартушы агенттер енгізілгеніне және битумның физика-механикалық сипаттамаларының айтарлықтай өзгеруіне қарамастан, барлық сынақ серияларында жасартылған битумдардың тұтану температурасы шамамен 300 °C және одан жоғары деңгейде қалды, бұл өрт қауіпсіздігінің нормативтік талаптарына толық сәйкес келеді. Осылайша, қалпына келтіруші агенттерді қосу бұл көрсеткішке теріс әсер етпейді, бұл ыстық асфальтбетон қоспаларын өндіру кезінде зерттелген агенттерді қолдану қауіпсіздігін растайды.

4. Қорытынды

Зерттеу барысында жасанды термототықтыру арқылы ескіруге ұшыраған МЖБ 100/130 және МЖБ 70/100 маркалы жол битумдарының физика-механикалық сипаттамаларын қалпына келтіру үшін пайдаланылған өсімдік майы және мотор майларын (5W-30 және 10W-40) қалпына келтіруші агенттер ретінде қолдану тиімділігі кешенді бағаланды. Жасартқыш агенттерді енгізу пенетрацияның өсуіне және жұмсару температурасының төмендеуіне әкеледі. Терең ескірген (225 мин) МЖБ 100/130 битумы үшін 12 мас.% өсімдік майымен түрлендіру, иненің ену тереңдігін 42-ден 189×,1 мм-ге дейін арттырды, жұмсару тепературасын 56,7-ден 40,0 °C-қа дейін төмендетті. Терең ескірген МЖБ 70/100 битумының ине ену тереңдігі 33-тен 145×0,1 мм-ге дейін артты, жұмсару температурасы 66,9-дан 49,8 °C-қа төмендеді. Өсімдік майын 12 масс.% қосу битумдардың тым жасаруына алып келеді, сондықтан терең ескірген битумдарға оның оңтайлы мөлшері 9 масс.%, ал маркасы 10W-40 және 5W-30 мотор майлар үшін 12 масс.% құрайды. 85 минуттық ескіруден кейінгі битумдарға оңтайлы мөлшерлері: өсімдік майы 3 масс.%, ал мотор майларына 6 масс.% құрайды.

Зерттеу нәтижелері жасартатын агенттерді таңдауға төмендегі әдісті ұсынады: өсімдік майы – терең және орташа ескірген битумдардың иілгіштігін қалпына келтіру үшін; пайдаланылған 5W-30 маркалы мотор майын орташа ескірген битумдарды жұмсақ қалпына келтіру үшін; пайдаланылған 10W-40 маркалы мотор майын терең және орташа ескірген битумдардың қасиеттерін қалпына келтіру үшін. Битум қасиеттерінің қалпына келтірудің тиімділігі оның маркасына, ескіру дәрежесіне және қалпына келтіруші агенттердің табиғатына байланысты.

Зерттелген реювенаторлардың үш түрін де қосу тұтану температурасының шамалы төмендеуімен қатар жүреді, алайда барлық сынақ сериялarында бұл көрсеткіш 300 °C-тан жоғары деңгейде қалады.

Жұмыс нәтижелері зерттелген қалпына келтіруші агенттерді жол жабындарын қайта өңдеу технологияларында қолданудың орындылығын растайды. Битумның ескіру үдерістерінің салдарын тежеу үшін биогендік компоненттерді (өсімдік майларын) қосу және пайдаланылған мотор майларын қайта өңдеу асфальтбетонның беріктігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар саланың экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етуге елеулі үлес қосады.

Author Contributions

Ainur Zhambolova – Funding Acquisition, Project Administration, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing. **Yerdos Ongarbayev** – Conceptualization, Formal Analysis, Writing – Review & Editing. **Dinmukhamed Abdikhan** – Investigation, Methodology, Validation. **Dilnaz Kopbosynova** – Investigation, Methodology, Validation. **Talgar Serik** – Software, Visualization. **Aksaule Kydyrali** – Data Curation, Investigation.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс

Жұмыс ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті гранттық қаржыландыруымен «AP26104839 Жасартатын қасиеттерді беру үшін тамақ қалдықтарының пиролиз өнімдерімен және қолданылған машина майларымен мұнай битумдарын түрлендіру технологиясын әзірлеу» жобасы аясында жасалды.

References

[1]. W.D. Fernández-Gómez, H.R. Quintana, F.R. Lizcano. A review of asphalt and asphalt mixture ageing 33 (2013) 5-12. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v33n1.37659.

[2]. X. Wang, H. Guo, Bo Yang, Xi. Chang, Ch. Wan, et al. Aging Characteristics of Bitumen from Different

Bituminous Pavement Structures in Service. Materials 12 (2019) 530. https://doi.org/10.3390/ma12030530.

[3]. W. Wu, B. Chen, J. Chen, Z. Li. Study on the equivalence of extended-RTFOT and RTFOT-PAV in asphalt long-term aging simulation. Construction and Building Materials 476 (2025) 141239. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141239.

[4]. H. Wang, Z. Du, G. Liu, X. Luo, C. Yang. Effect of Long-Term Aging on Fatigue and Thermal Cracking Performance of Polyphosphoric Acid and Styrene–Butadiene–Styrene-Modified Bio-Blend Bitumen. Polymers 15 (2023) 2911. https://doi.org/10.3390/polym15132911.

[5]. K. Schwettmann-Lui, N. Nytus, S. Weigel, M. Radenberg, D. Stephan. Effect of multiple-repeated aging and rejuvenation processes on bitumen properties evaluated with physical and chemical tests and multivariate analysis methods. Construction and Building Materials 472 (2025) 140734. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140734.

[6]. P. Caputo, C.O. Rossi. Differential scanning calorimetry as a new method to evaluate the effectiveness of rejuvenating agents in bitumens. Applied Sciences 11 (2021) 6528. https://doi.org/10.3390/app11146528.

[7]. S. Matolia, G. Guduru, B. Gottumukkala, K.K. Kuna. An investigation into the influence of aging and rejuvenation on surface free energy components and chemical composition of bitumen. Construction and Building Materials 245 (2020) 118378. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118378.

[8]. E.S. Goosen, K.J. Jenkins. Understanding Bitumen Aging through Interrelationships and Aging Ratios. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 2679 (2023) 787-812. https://doi.org/10.1177/03611981221147519.

[9]. R. Mehmooda, F.M. Jakarnia, R. Muniandya, S. Hassima, N.N. Nik Dauda, et al. Waste engine oil as a sustainable approach for asphalt rejuvenation and modification: A review. Heliyon 10 (2024) e40737. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40737.

[10]. M. Bilema, M. Y.i Aman, N.A. Hassan, Z.A. Memon, H.A. Omar, et al. Mechanical Performance of Reclaimed Asphalt Pavement Modified with Waste Frying Oil and Crumb Rubber. Materials 14 (2021) 2781. https://doi.org/10.3390/ma14112781.

[11]. N.S. Abd Ali, H. Joni, R.H.A. Al-Rubaee. Evaluation of reclaimed asphalt mixtures rejuvenated with waste engine oil to resist rutting deformation. Open Engineering 14 (2024) 20220555. https://doi.org/10.1515/eng-2022-0555

[12]. J. Ji, H. Yao, Z. Suo, Z. You, H. Li, et al. Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt. Journal of Materials in Civil Engineering 29 (2017) D4016003. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001769.

[13]. Sh. Yan, Q. Dong, Xu. Chen, Ch. Zhou, S. Dong, et al. Application of waste oil in asphalt rejuvenation and modification: A comprehensive review. Construction and Building Materials, 340 (2022) 127784. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127784.

[14]. Y. Tan, J. Xie, J. Xu, K. Li, D. Wei. Rheological properties and regeneration mechanisms of recycled asphalt: A comparative study of mineral rejuvenators and biomass rejuvenators. Construction and Building Materials 491 (2025) 142665. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142665.

[15]. V. Kumar, P. Aggarwal. Characteristics of Waste Oil-rejuvenated RAP Bitumen: An Experimental Study. Jordan Journal of Civil Engineering 17 (2023) 443-456. https://doi.org/10.14525/JJCE.v17i3.07.

About the Authors

D.B. Abdikhan – PhD Student, Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
E-mail: dimash.abdixan02@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1806-1886

D.Zh. Kopbossynova – Master's student, Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
E-mail: dilnaz.kopbosynova@gmail.com

T. Serik – Junior Researcher, Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: talgarserik0@gmail.com

A.N. Kydyrali – Junior Researcher, Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: aksaule2014r@gmail.com

E.K. Ongarbaev – DSc, Professor, Head of the laboratory of Petrochemical Processes at the Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: Erdos.Ongarbayev@kaznu.edu.kz
ORCID https://orcid.org/0000-0002-0418-9360

A.B. Zhambolova – PhD, Leading Researcher, Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan
E-mail: zhambolova.ainur@mail.ru
ORCID https://orcid.org/0009-0003-1680-5452

The Use of Waste Engine and Vegetable Oils as Rejuvenating Additives for Petroleum Bitumen

D.B. Abdikhan[1,2], D.Zh. Kopbossynova[2], T. Serik[1], A.N. Kydyrali[1], Y.K. Ongarbayev[1,2], A.B. Zhambolova[1*]

[1]Institute of Combustion Problems, Bogenbai Batyr Str., 172, Almaty, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Bitumen in asphalt concrete undergoes aging under the influence of atmospheric and climatic factors. As a result, the component composition of the bitumen changes, and individual fractions transform into one another. Consequently, the maltenes in the bitumen combine and transform into asphaltenes. An increase in the amount of asphaltenes in bitumen leads to a decrease in elasticity and an increase in brittleness. In this study, the effect of vegetable oil and 5W-30 and 10W-40 motor oils used as agents for restoring the physical and mechanical properties of aged bitumen grades BND 100/130 and BND 70/100 was investigated. The aging process was simulated in a special rotating thin-film furnace for 85 and 225 min. Functional groups in the restoring agents were determined using IR spectroscopy. The effectiveness of the restoring agents was confirmed by determining the physical and mechanical properties of bitumen before and after aging (softening point, needle penetration depth, plasticity, brittleness temperature, ignition temperature in an open crucible). The optimal amount of additives was 3-6 wt.%, and for deeply aged samples, 9-12 wt.%. The results demonstrate the potential of the studied agents for use in the restoration and recycling of road bitumen.

Keywords: petroleum bitumen, rejuvenating, used motor oil, used vegetable oil

---

Использование отработанных моторных и растительных масел в качестве омолаживающих добавок для нефтяных битумов

Д.Б. Әбдіхан[1,2], Д.Ж. Копбосынова[2], Т. Серік[1], А.Н. Қыдырәлі[1], Е.К. Онгарбаев[1,2], А.Б. Жамболова[1*]

[1]Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Битум в асфальтобетоне подвергается старению под воздействием атмосферных и климатических факторов. В результате изменяется компонентный состав битума, отдельные фракции трансформируются друг в друга. Вследствие этого мальтены в битуме соединяются и превращаются в асфальтены. Увеличение количества асфальтенов в битуме приводит к снижению эластичности и повышению хрупкости. В данной работе исследовано влияние растительного масла и моторных масел 5W-30 и 10W-40, используемых в качестве агентов для восстановления физико-механических свойств состаренных битумов марок БНД 100/130 и БНД 70/100. Процесс старения имитировали в специальной вращающейся тонкопленочной печи в течение 85 и 225 мин. Функциональные группы в восстанавливающих агентах определяли методом ИК-спектроскопии. Эффективность восстанавливающих агентов подтверждали определением физико-механических свойств битумов до и после старения (температура размягчения, глубина проникновения иглы, пластичность, температура хрупкости, температура воспламенения в открытом тигле). Оптимальное количество добавок составило 3-6 мас.%, а для образцов глубокого старения – 9-12 мас.%. Полученные результаты доказывают перспективность исследованных агентов для использования в восстановлении и переработке дорожного битума.

Ключевые слова: битум нефтяной дорожный, восстановление, отработанное моторное масло, использованное растительное масло