

FTAMP 61.51.17

Ғ.А. Тұрлыбек<sup>1</sup> – негізгі автор, | ©  
К.К. Сырманова<sup>2</sup>, Н.М. Дәуренбек<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Техн. ғылым. д-ры, профессор, <sup>2</sup>Докторант, <sup>3</sup>Техн. ғылым. канд., доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0001-3025-9203> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1468-6440>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4238-3359>



<sup>1,2,3</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,



Шымкент, Қазақстан



<sup>1</sup>[aaqtorgyn\\_gaziza260521@mail.ru](mailto:aaqtorgyn_gaziza260521@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/KQVA2742>

## ПОЛИМЕР-БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДАҒЫ ПЛАСТИФИКАТОРДЫҢ РӨЛІ

**Аңдатпа.** Мақалада полимер-битум байланыстырғыштар (ПББ) құрамындағы пластификациялаушы қоспалардың материалдың реологиялық, құрылымдық және пайдалану сипаттамаларының қалыптасуына әсері қарастырылады. Пластификаторлардың химиялық табиғаты мен концентрациясының битум-полимер матрицасының үйлесімділігіне, температуралық сезімталдығына және фазалық тұрақтылығына ықпалы талданды. Зерттеу барысында өнеркәсіптік пластификатор Унипласт-3, вермикулит, табиғи текті модификатор – госсипол шайыры негізінде үш түрлі ПББ құрамы дайындалды. Құрылымдық өзгерістер ИК-Фурье спектроскопия әдісімен зерттеліп, консистенциялық қасиеттері 25°C-та пенетрация көрсеткіші арқылы бағаланды. Нәтижелер Унипласт-3 енгізілген жүйеде айқын пластификациялаушы әсер байқалатынын, ал вермикулит пен госсипол шайыры қосылған құрамдарда құрылымдық өзара әрекеттесулердің өзгеретінін көрсетті. Алынған деректер пластификатор табиғатының ПББ кеңістіктік құрылымын қалыптастырудағы белсенді рөлін дәлелдейді және Қазақстанның күрт континенттік климат жағдайына бейімделген тиімді құрамдарды негіздеуге мүмкіндік береді.

**Тірек сөздер:** полимер-битум байланыстырғыштары, пластификаторлар, аралас модификация, үйлесімділік, жол беттері, климатқа төзімділік, деформацияға төзімділік, беріктік, Унипласт-3.



Сырманова, К.К. Полимер-битумды байланыстырғыштардағы пластификатордың рөлі [Мәтін] / К.К. Сырманова, Ғ.А. Тұрлыбек, Н.М. Дәуренбек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.399-417. <https://doi.org/10.55956/KQVA2742>

**Кіріспе.** Полимер-битум байланыстырғыштары (ПББ) қазіргі заманғы жол құрылысында деформацияға төзімділікті, жарықшақтарға төзімділікті және жол беттерінің беріктігін арттыру қабілетіне байланысты маңызды орын алады. Алайда, битумды полимер қоспаларымен модификациялаудың тиімділігі көбінесе қосалқы компоненттердің құрамымен анықталады, олардың арасында пластификаторлар ерекше маңызды рөл атқарады.

Пластификациялаушы қоспалар ПББ реологиялық және құрылымдық қасиеттерін реттеу функциясын орындайды, битум мен полимер фазаларының үйлесімділігін арттыруға, процесінің тұтқырлығын төмендетуге

және материалдың фазалық күйін тұрақтандыруға көмектеседі. Сонымен қатар, пластификаторлардың химиялық табиғаты мен мөлшері ПББ-лардың температураға сезімталдығына, қартаюға төзімділігіне және пайдалану сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді.

Қазақстан мен ТМД елдерінің күрт континенталды климатында полимер-битум байланыстырғыштарына қойылатын талаптар айтарлықтай жоғары, бұл пластификаторлардың рөлін жүйелі талдауды қажет етеді. Пластификаторлар бойынша көптеген зерттеулерге қарамастан, оларды таңдауға үйлесімділікті, климаттық факторларды және қоршаған орта талаптарын ескеретін бірыңғай, жүйелі тәсіл жоқ. Осыған байланысты, ПББ қасиеттерін қалыптастырудағы пластификаторлардың рөлі туралы қазіргі заманғы тұжырымдамаларды шолу өзекті болып табылады. Осы мәселенің өзектілігіне қарамастан, пластификаторлардың әртүрлі химиялық табиғаты жағдайында олардың битум-полимер жүйесіндегі құрылымдық өзгерістерге әсер ету механизмі жеткілікті деңгейде ашылмаған. Әсіресе, дәстүрлі өнеркәсіптік пластификаторлар мен табиғи текті модификаторлардың салыстырмалы әсерін кешенді талдау жеткіліксіз.

Осыған байланысты, зерттеудің ғылыми мәселесі пластификациялаушы және модификациялаушы қоспалардың полимер-битум байланыстырғыштарының құрылымдық және реологиялық қасиеттерін қалыптастыру механизмін анықтау болып табылады.

Зерттеу мақсаты – әртүрлі табиғатты пластификаторлар негізінде алынған полимер-битум байланыстырғыштарының құрылымдық ерекшеліктерін инфрақызыл спектроскопия әдісімен зерттеу және алынған деректерді пенетрация көрсеткіштерімен салыстыра отырып, олардың консистенцияға және құрылымдық тұрақтылыққа әсерін бағалау.

Жұмыста өнеркәсіптік пластификатор ретінде Унипласт-3, сондай-ақ табиғи текті модификатор – госсипол шайыры қолданылды. Құрылымдық өзгерістер ИК-Фурье спектроскопия әдісімен талданып, алынған нәтижелер физика-механикалық көрсеткіштермен өзара байланыста қарастырылды.

Осылайша, зерттеу пластификаторлардың тек реологиялық емес, сонымен қатар молекулааралық әрекеттесу деңгейінде ПББ құрылымына әсерін жүйелі түрде бағалауға бағытталған.

*ПББ-тарда қолданылатын пластификаторлардың жіктелуі және түрлері.* Пластификаторлар – полимерлік жүйелер мен полимер-битум байланыстырғыштарының реологиялық және пайдалану сипаттамаларын анықтайтын модификациялық қоспалар. Олар функционалдық мақсаты мен химиялық табиғаты бойынша, соның ішінде ішкі және сыртқы, физикалық және химиялық, эфир мен май, сондай-ақ біріншілік және екіншілік пластификаторлар бойынша жіктеледі [1].

Ішкі пластификаторлар полимер тізбегімен ковалентті байланысқан құрылымдық фрагменттер болып табылады және іс жүзінде макромолекуланың бөлігі болып табылады. Оларды енгізу молекулааралық өзара әрекеттесулерді әлсірету арқылы әйнектің температурасы мен кристалдылық дәрежесін төмендетеді [2]. Сыртқы пластификаторлар, керісінше, полимермен химиялық байланыс түзбейді және тек физикалық араластыру арқылы әсер етеді, сутегі байланыстары мен Ван-дер-Ваальс өзара әрекеттесуі арқылы пластификацияны жүзеге асырады [3].

Полимер матрицасымен үйлесімділік дәрежесі бойынша пластификаторлар біріншілік және екіншілік болып жіктеледі. Біріншілік еріткіш қабілеті жоғары және полимердің аморфты және кристалды

аймақтарына ене алады, ал екіншілік пластификаторлар тұтқырлық пен композиция құнын реттеу арқылы көмекші рөл атқарады [4].

Өнеркәсіпте эфирлер (фталаттар, адипаттар, себацинаттар, фосфаттар) және мұнай майлары (нафтенді, хош иісті, парафинді), сондай-ақ эпоксидті өсімдік майларына негізделген биоластификаторлар кеңінен таралды [5]. Белгілі бір концентрациядағы эфирлер аморфты полимерлер үшін еріткіш ретінде әрекет ете алатыны анықталды, ал майлар көп жағдайда қайталама пластификаторлар болып табылады [6]. Полимерлі-битумды байланыстырғыштарда қолданылатын пластификациялаушы және модификациялаушы компоненттердің негізгі топтары, сондай-ақ олардың реологиялық және пайдалану сипаттамаларына әсері 1-суретте жүйеленген және схемалық түрде ұсынылған.



Сурет 1. ПББ-да қолданылатын пластификаторлардың/модификаторлардың түрлері

Пластификаторлардың негізгі кластары, олардың типтік құрамы және битумды және полимер-битумды байланыстырғышар технологиясында қолданылатын қосылыстардың мысалдары 1-кестеде жинақталған. Докторлық диссертация тақырыбына сәйкес пластификатордың құрамын реттеу арқылы полимерлі- битумды байланыстырғыш алу мақсатында маған 2 немесе 3 модификациялаушы пластификаторлар қолдануға тура келеді. Соған сәйкесінше аталған жұмыста Унипласт-3, госсипол шайыры және де вермикулит қолданылды. Ұсынылған жүйелеу пластификациялаушы қоспалардың химиялық табиғатын олардың практикалық қолдану бағыттарымен және күтілетін функционалдық әсерлерімен көрнекі түрде салыстыруға мүмкіндік береді. Бұл полимерлік фазаның битум матрицасында біркелкі таралуын ғана емес, сонымен қатар қоспалардың төмендетілген температурада тұрақты өңделуін қамтамасыз етуді талап ететін полимер-битумды жүйелер үшін іргелі маңызға ие. Сонымен қатар, пластификаторлардың молекулалық құрылымындағы, полярлығындағы және еріткіштік қабілетіндегі айырмашылықтар олардың ПББ-тардың құрылымына және реологиялық мінез-құлқына әсер ету механизмдерінің әртүрлі болуын

тудырады. Осыған байланысты, пластификациялаушы қоспаларды негізді түрде таңдау үшін олардың битум-полимер жүйелеріндегі әсер ету механизмдерін сипаттайтын қолданыстағы теориялық түсініктерді қарастыру қажет.

Кесте 1

## Пластификаторлардың негізгі кластары, типтік құрамы және қолданылуы

Пластификатор класы	Типтік құрамы (химиялық табиғаты)	Қолданылуы және артықшылықтары
Мұнай және қалдық майлар	Ауыр мұнай фракцияларының қоспалары, қайта өңдеу қалдықтары, кей жағдайда беттік-белсенді заттармен модификацияланған	Битум құрамындағы полимердің ерігіштігін жақсарту және жүйенің тұтқырлығын төмендету үшін қолданылады; экономикалық тұрғыдан тиімді, алайда тозуға төзімділікке кері әсер етуі мүмкін
Фталаттар (орто-фталаттар) (DOP, DEHP және т.б.)	Ди-(2-этилгексил) фталат және ұқсас қосылыстар	Пластификациялау тиімділігі жоғары және арзан; алайда экологиялық және санитарлық шектеулерге байланысты бірқатар елдерде қолданылуы қысқартылған немесе баламалармен алмастырылуда
Фталаттар емес пластификаторлар (DOTP/DEHT, DINP, DINCH, TOTM және т.б.)	Терефталаттық, адипаттық және тримеллиттік эфирлер	Қазіргі экологиялық талаптарға анағұрлым сәйкес келеді; фталаттарға балама ретінде кеңінен қолданылады
Эпоксидті өсімдік майлары (биоластификаторлар)	Эпоксидтелген соя майы (ESBO), эпоксидті өсімдік эфирлері	Экологиялық таза, биологиялық негізделген; пластификатор және тұрақтандырғыш ретінде әрекет етеді, «жасыл» полимер-битумды байланыстырғыштар құрамында қолдануға жарамды
Полимерлі және жоғары молекулалы пластификаторлар	Төмен молекулалық салмақты полимерлер немесе олигомерлер	Миграциясының төмендігімен және сілтісіздендіруге төзімділігімен ерекшеленеді; жоғары тұрақтылық талап етілетін полимер-битумды жүйелер үшін тиімді
Полимер қалдықтары мен пластификаторлар негізіндегі композиттік жүйелер	Қайта өңделген немесе ұсақталған пластик және пластификациялаушы қоспалар	Экономикалық тұрғыдан тиімді; қаттылық пен жол жабындысының деформацияға төзімділігін арттырады, алайда үйлесімділік пен төмен температуралық қасиеттер бойынша шектеулер болуы мүмкін

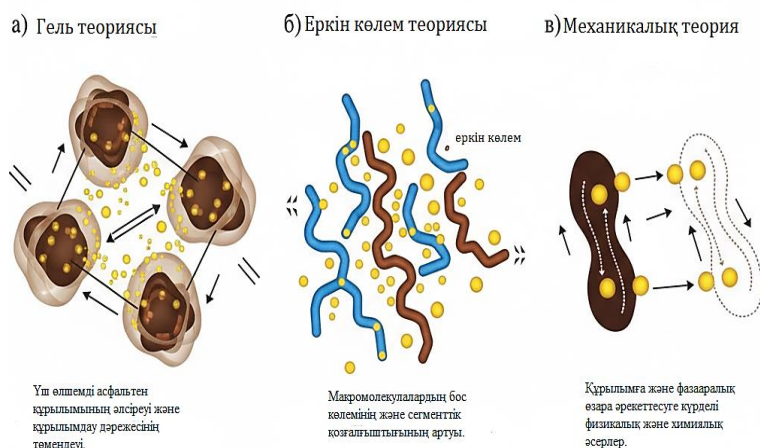
*Пластификаторлардың әсер ету механизмінің теориялық тұжырымдамалары.* Пластификаторлар битум байланыстырғыштарын модификациялауда, тұтқырлықты азайтуда, серпімділікті арттыруда және қартаюға төзімділікті жақсартуда маңызды рөл атқарады. Олардың тиімділігі

бірнеше негізгі теориялармен түсіндіріледі. Майлау теориясына сәйкес, пластификатор молекулалары битум мен полимер макромолекулаларының арасына орналастырылады, бұл ішкі үйкелісті азайтады және құрылымдық фрагменттердің қозғалғыштығын арттырады [7].

Гель теориясында пластификатор асфальтендерден, шайырлардан және майлардан тұратын битум гелінің үш өлшемді құрылымын әлсірететін агент ретінде қарастырылады. Пластификаторды енгізу ығысу модульдерінің төмендеуіне және деформация процестерінің жеңілдетілуіне әкеліп соқтыратын құрылымдық дәрежесін және асфальт торының тығыздығын төмендетеді [8]. Алайда, бұл теория пластификатордың артық болуы құрылымның шамадан тыс "сұйылтылуына" әкелуі мүмкін, бұл ПББ өнімділігін төмендетеді.

Еркін көлем теориясына сәйкес, пластификаторлар битум мен полимер молекулалары арасындағы микрокеңістіктердің үлесін арттырады, бұл сегменттік қозғалғыштығын арттырады және жүйенің шыны өтпелі температурасын төмендетеді [9]. Полимер-битум байланыстырғыштары үшін бұл төмен температурада серпімділіктің жақсаруын және жарықшақтарға төзімділіктің артуын білдіреді.

Механикалық теория пластификаторлардың әрекетін анағұрлым жан-жақты қарастырады – молекулалардың физикалық орналасуын, молекулааралық байланыстың әлсіреуін, битум компоненттерінің таңдамалы ерітілуін және деформацияға энергетикалық кедергілерді азайтуды қамтитын әсерлер жиынтығы ретінде [10]. Бұл теория модификацияланған битум жүйелерінің табиғатын толық көрсетеді және оны қазіргі заманғы ПББ зерттеушілері битум мен полимерлердің үйлесімділігін түсіндіру, сондай-ақ пластификатор қоспаларының құрамын оңтайландыру үшін пайдаланады. Полимер-битум байланыстырғыштарындағы пластификаторлардың әсер ету механизмін сипаттаудың негізгі теориялық тәсілдерінің салыстырмалы көрінісі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Пластификаторлардың полимер-битумды байланыстырғыштарға әсер етуінің негізгі теорияларын схемалық көрінісі: а – гелдік теория; ә – бос көлем теориясы; б – механикалық модель

*Пластификаторларды қолданудың экологиялық және нарықтық аспектілері.* Қазіргі әдебиеттерде экологиялық және токсикологиялық

аспектілерге ерекше көңіл бөлінеді. Фталатты пластификаторлары (DEHP, DINP, DIDP) эндокриндік бұзылғыштар ретінде жіктеледі және полимер матрицаларынан миграцияға бейім [11]. Бұл адипаттарға, цитраттарға, эпоксидті майларға және полимерлі пластификаторларға негізделген баламалардың дамуын ынталандырады [12].

Пластификаторлардың әлемдік нарығы 2023 жылы 22,5 миллиард АҚШ долларын құрады және 2034 жылға қарай 41,2 миллиард АҚШ долларына жетеді деп болжануда, жылдық өсім шамамен 5% құрайды [13]. Сонымен қатар, полимерлік жүйелерге арналған пластификаторлар нарығы талдаушылардың бағалауы бойынша 15,3 миллиард АҚШ долларынан (2023) 22,8 миллиард АҚШ долларына (2032) дейін өседі, жылдық өсім шамамен 4,5% құрайды [14], ал полимерлік қоспалардың жалпы нарығы 18,4 миллиард АҚШ долларынан (2024) 23,5 миллиард АҚШ долларына (2030) дейін өседі деп күтілуде, жылдық өсім шамамен 4,3% құрайды [15]. Бұл динамика құрылыс қызметінің өсуін, жол беттерінде полимермен модификацияланған битумды қолданудың кеңеюін және аязға төзімділігі мен беріктігі жоғары байланыстырғыштарға көшуді көрсетеді [16].

ТМД елдерінде және Қазақстанда пластификатор өндірісі шектеулі болып қала береді, ал көлем статистикасының болмауы импорттық жеткізілімдерге тәуелділікті растайды және РВВ үшін жергілікті және экологиялық таза пластификациялау жүйелерін әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді. ТМД және Қазақстан нарықтарында бар пластификатор өндірушілері мен брендтерінің салыстырмалы шолуы 2-кестеде келтірілген.

Жаһандық нарықтың өсуі, қатаң экологиялық талаптар және ПББ-ның төмен температуралық қасиеттерін қалыптастырудағы пластификаторлардың маңызды рөлі шұғыл континенттік климат жағдайларына бейімделген тиімді және қауіпсіз рецептураларды әзірлеудің өзектілігін анықтайды.

Кесте 2

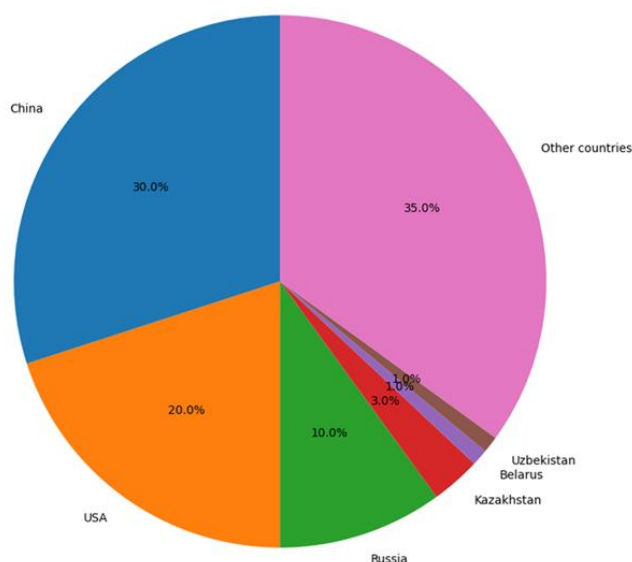
## Пластификатор өндірушілері мен маркалары

№	Ел	Компания	Өнім	Түрі
1	Қазақстан	АМДОР/Amdor	АМДОР-ПЛ (А және В маркалы)	ПББ арналған пластификатор (мұнайлы/қалдық)
2	Ресей	НПФ Селена	Унипласт-2	өсімдік шикізаты+ минералды майлар (пластификатор)
3	Ресей	KRZ/КРЗ	Полимер-битумды байланыстырғыш	ПББ өндірушісі (SBS модификаторлары және басқалары)
4	Беларусь	MDD-BEL	High polymer softener	битум мен резеңкеге арналған пластификатор (полимер/композит)
5	Қазақстан	Optimus-kz	Унипласт (сауда позициясы)	пластификатор, жол қоспалары
6	Қазақстан	CBS-Shymkent	AZOL 1011	минералды майларсыз пластификатор
7	Қазақстан	KCHZ	ПББ арналған пластификатор (маркалары)	пластификатор (құрамында минералды майлар жоқ)

Қазақстанда, Ресей Федерациясында және Беларусь Республикасында ПББ-ларды практикалық өндіруде мұнай фракцияларына,

модификацияланған майларға және мұнай-химия және резеңке өнеркәсібіндегі кәсіпорындар шығаратын полимер қоспаларына негізделген құрамдар қолданылады. Көптеген коммерциялық өнімдер үшін өнеркәсіптік құпиялылыққа байланысты нақты құрамы туралы ақпарат жоқ. Бұл әртүрлі пластификациялау жүйелерінің тиімділігін тәуелсіз ғылыми бағалауды және салыстыруды айтарлықтай қиындатады [2].

Әлемдік ПББ өндірісінің өсуі жол құрылысына деген көзқарастардың өзгеруін көрсетеді, ол жол жабындарының тозуға төзімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға бағытталған. Аналитикалық және қолданбалы зерттеулерге сәйкес, ПББ табиғи өндіріс көлемі жылына ондаған миллион тоннаға бағаланады, бұл ретте әлемдік көлемнің жартысынан астамы дамыған жол инфрақұрылымы бар елдерге келеді [17]. Әлемнің жетекші елдері мен аймақтары арасында ПББ өндірісінің бөлінуі бағалаулар бойынша 3-суретте келтірілген. Нарықтың тұрақты өсуі құрылыс көлемінің ұлғаюымен ғана емес, сонымен қатар дәстүрлі битумды жоғары тиімді модификацияланған жүйелермен ауыстырумен де анықталады [18].



Сурет 3. Елдер бойынша ПББ өндірісінің бағалау үлесі

ТМД елдерінде (әсіресе Ресейде) пластификаторлар нарығы бар және тұрақты даму белгілерін көрсетеді, бірақ өндіріс пен тұтынудың нақты көлемі туралы жария деректер өте шектеулі болып қалады. Жақында жүргізілген салалық зерттеулерге сәйкес, Ресейде фталатсыз пластификаторлар нарығы 2024 жылы шамамен 113,6 миллион USD-ге бағаланды, 2032 жылға қарай 230,1 миллион USD-ге дейін өсу болжамы орташа жылдық қарқынмен ~ 12 % [19]. Дегенмен, бұл талдау өндірілген шикізаттың немесе қоспалардың нақты тоннасын емес, тек нарықтың қаржылық көлемін көрсетеді және нақты қолданбалар (ПББ, пластмасса, резеңке және т.б.) бойынша тұтыну құрылымын ашпайды. Осылайша, нарық дамып келе жатқанымен, қол жетімді статистика пластификаторлардың нақты өндірісін немесе олардың сегменттерге таралуын (битум мастикасы, пластмасса, резеңке және т.б.) сенімді бағалауға мүмкіндік бермейді.

Пластификаторлардың кеңінен қолданылуына қарамастан, бірқатар шешілмеген мәселелер әлі де бар. Негізгі мәселелердің бірі – жеңіл мұнай пластификаторларын қолданған кезде ПББ-лардың тотығу тозуына, яғни төзімділігінің төмендеуі, бұл қызмет көрсету кезінде қаттылықтың жоғарылауына және жарықшақтардың пайда болуына әкеледі [15,16]. Сондай-ақ, кейбір пластификаторлардың битум мен полимерлердің белгілі бір түрлерімен үйлесімсіздігі де елеулі қиындықтарды тудырады, бұл сақтау кезінде фазалық тұрақсыздыққа және полимер фазасының шөгіндісіне әкелуі мүмкін [2]. Бұл әсерлер әсіресе жұмыс температурасының диапазоны 80°C және одан жоғары болатын Қазақстан мен Орталық Азия елдеріне тән күрт континенталды климатта айқын байқалады.

Экологиялық тұрғыдан алғанда, мұнай пластификаторларын кеңінен қолдану токсикологиялық қауіпсіздік пен қоршаған ортаға әсерін қосымша бағалауды талап етеді [17]. Сондықтан, өсімдік майлары мен табиғи компоненттерге негізделген биоластификаторларға қызығушылық артып келеді, олар дәстүрлі ерітінділерге экологиялық таза балама ретінде қарастырылады. Дегенмен, бұл саладағы зерттеулердің көпшілігі зертханалық сынақтармен шектеледі және мұндай материалдардың қасиеттерінің ұзақ мерзімді тұрақтылығы туралы жеткілікті деректерді қамтымайды [20].

*ПББ-тардың аралас модификациясы және зерттеулердің заманауи бағыттары.* Модификацияланған битумдар, әсіресе оңтайландырылған шығындармен жақсартылған өнімділік сипаттамалары бар жол жабындарына деген сұраныстың артуын ескере отырып, қарқынды зерттеулер мен практикалық қызығушылықтың тақырыбы болып қала береді. Әдебиеттердегі зерттеудің назар аударарлық саласы - полифосфор қышқылы (ПФҚ) сияқты пластификаторлар мен қышқылдық модификаторларды қолдану. Төменде тақырып бойынша негізгі жұмыстар, олардың жетістіктері, сондай-ақ болашақ зерттеулер үшін бар олқылықтар мен бағыттар талданады.

Polyphosphoric acid and plasticizer modified asphalt жұмысында: Rheological properties and modification mechanism пластификаторлармен (диоктилфталат – DOP, және триоктил-тримеллиат – TOTM) және әртүрлі PPA мазмұнымен (0.5-2 мас.%). Авторлар зертханалық сынақтардың толық жиынтығын жүргізді: DSR, BBR, айналымды вискозиметрдің тұтқырлығы, сақтау кезінде ыстыққа төзімділік, сондай-ақ FTIR талдауы және микроқұрылымдық зерттеу. Нәтижелер жоғары температуралық деформацияға төзімділіктің айтарлықтай жоғарылауын және термиялық тұрақтылықтың жақсарғанын көрсетті, PPA дозасының жоғарылауымен төмен температуралық икемділікке оң әсердің төмендеуі байқалды. Авторлар сонымен қатар PPA модификациясы пластификатормен қарапайым физикалық араласудан айырмашылығы, битум компоненттерімен химиялық реакцияға және оның микроқұрылымының өзгеруіне ықпал ететінін атап өтеді. Бұл біріктірілген модификацияның ықтимал инженерлік қолданылуын көрсетеді. [21]

Алайда, бұл маңызды жұмыстың да шектеулері бар. Барлық деректер қысқа мерзімді қартаю кезеңдері бар бақыланатын зертханалық жағдайларда алынды. Ол нақты климаттық және эксплуатациялық жағдайларда ұзақ мерзімді тотығу қартаюын зерттемейді және стирол бутадиең стиролы (SBS) немесе стирол бутадиеңді резеңке (SBR) сияқты дәстүрлі полимерлермен үйлесімділікті қарастырмайды, бұл нәтижелердің тәжірибеде жиі

қолданылатын полимермен модификацияланған битумдарға берілуін айтарлықтай шектейді.

Соңғы зерттеулер біріктірілген модификацияның ауқымын кеңейтуді жалғастыруда. Осылайша, SBS/полифосфор қышқылының композиттік модификацияланған асфальтының өнімділігін зерттеуде PPA қосылған SBS модификациясының комбинациясы зерттелді. Авторлар физикалық-механикалық, реологиялық және микроқұрылымдық сипаттамаларды (FTIR және SEM қоса алғанда) бағалап, оңтайлы PPA мазмұны шамамен 0,75% құрайтынын анықтады - бұл ену (пенетрация) мен икемділіктің төмендеуіне, жұмсарту нүктесінің жоғарылауына, тұтқырлықтың жоғарылауына және жыртылу кедергісі мен термиялық тұрақтылықтың айтарлықтай жақсаруына әкеледі. Бұл PPA полимер битумдары үшін «толықтырушы» модификатор ретінде әрекет ете алатынын, өнімділік қасиеттерін сақтай отырып немесе жақсарта отырып, полимердің үлесін азайта алатынын көрсетеді. [22]

Дегенмен, мұндай біріктірілген жүйелерде де маңызды мәселелер қалады. Біріншіден, төмен температуралық қасиеттер мен суық жарылуға төзімділік төмендейді, әсіресе негізгі битум құрамында балауыз немесе жеңіл фракциялардың көп бөлігі болса. Екіншіден, температура циклдеріне, ылғалдылыққа, ультракүлгін сәулеленуге және жүктемелерге ұшырауды қоса алғанда, мұндай материалдардың көпжылдық қызмет ету кезеңіндегі қасиеттерін ұзақ мерзімді далалық зерттеулер іс жүзінде жоқ. Бұл олқылық жақында жарияланған «Жол төсеміндегі полифосфор қышқылының композитті модификацияланған асфальтты соңғы әзірлеуі» шолуында да атап өтілген, онда далалық деректердің және стандартталған қолдану нұсқауларының жеткіліксіздігі атап өтілген. [22, 25]

Polyphosphoric Acid modified Asphalt Research of Low-Temperature Performance of Polyphosphoric Modified Asphalt, PPA битумның фазалық құрылымына әсер ете алатынын, SBR қосқанда үйлесімділікті жақсарта алатынын, бетіндегі агрегаттардың өлшемдерін төмендететінін (sem бойынша), сондай-ақ химиялық құрамын (фосфат эфирлерінің түзілуі) өзгерте алатынын көрсетті, бұл төмен температуралық деформация қабілетін жақсартуға ықпал етеді. [23] Дегенмен, бұл жұмыс зертханалық жағдайлармен де шектеледі және оның нәтижелерін далалық жолдарға тікелей экстраполяциялау мүмкін емес.

«Полифосфор қышқылымен модификацияланған асфальт технологиясын зерттеудің жетістіктері мен болашағы» атты шолу мақаласында зертханалық зерттеулердің кең ауқымына қарамастан, PPA қолданудың бірыңғай стандарты жоқ екендігі; жалпыланған практикалық ұсыныстар жоқ және PPA-модификацияланған битумдардың ұзақ мерзімді өнімділігі туралы деректер өте аз екендігі атап өтілген. [24]

Сондай-ақ, экономикалық және экологиялық орындылықты бағалауда айтарлықтай олқылықтар бар: жол құрылысында технологияны енгізу үшін маңызды болып табылатын материалдық талдауды, экономикалық есептеулерді және өмірлік циклді бағалауды (LCA) біріктіретін зерттеулер жоқ дерлік.

Осылайша, әдебиеттерге шолу PPA + пластификаторды (және/немесе полимерді) қолдана отырып, битумды біріктірілген модификациялау перспективалы тәсіл екенін көрсетеді. Дегенмен, зертханалық аудиттерден практикалық қолдануға көшу үшін бірқатар іргелі мәселелерді шешу қажет: формулаларды аймақтық битумдарға бейімдеу, ұзақ мерзімді далалық

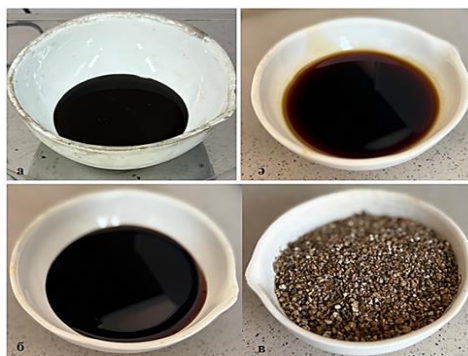
сынақтар жүргізу, беріктік пен тұрақтылықты бағалау және экономикалық және экологиялық тұрғыдан негізделген ұсыныстар беру.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Зерттеу үшін 70/100 мұнай БНД битумы – ірі тоннажды мұнай өңдеу өнімі пайдаланылды. БНД 70/100 битумын таңдау оның жол құрылысы тәжірибесінде кеңінен қолданылуымен және теңгерімді реологиялық сипаттамаларымен негізделген. Бұл көрсеткіштер бастапқы матрицаның шамадан тыс қаттылығына немесе аса жұмсақтығына жол бермей, енгізілетін модификаторлардың әсерін объективті түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Пластификациялаушы қоспа ретінде Унипласт-3 өнеркәсіптік пластификаторы қолданылды. Аталған өнім битумды-полимерлік жүйелерде тұтқырлықты төмендету және компоненттердің үйлесімділігін арттыру мақсатында пайдаланылатын композициялық органикалық қоспа болып табылады. Унипласт-3 таңдалуы оның жол құрылысында практикалық қолданылуымен және битум матрицасының құрылымдық торын әлсірету арқылы жүйенің икемділігін арттыру қабілетімен негізделеді. Пластификатордың енгізілуі асфальтенді агрегаттардың арасындағы молекулааралық әрекеттесуді төмендетіп, жүйенің деформацияға төзімділігін және төмен температурадағы иілгіштігін жақсартуы мүмкін.

Табиғи модификатор ретінде госсипол шайыры қолданылды. Госсипол фенолдық құрылымды органикалық қосылыс болып табылады және құрамында гидроксил топтары бар. Оны енгізу битум компоненттерімен қосымша молекулааралық әрекеттесулердің түзілуіне ықпал етуі мүмкін, бұл жүйенің құрылымдық ерекшеліктеріне әсер етеді.

Минералдық толтырғыш ретінде қабатты құрылымы бар табиғи алюмосиликат – вермикулит қолданылды. Оның морфологиясы битум-полимер жүйесінде белгілі бір дәрежеде құрылымдық қаттылықты арттырып, фазалардың біркелкі таралуына әсер етуі мүмкін. Осы аталған материалдардың көрінісі 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Бастапқы шикізаттар: а – 70/100 мұнай БНД битумы, б – УНИПЛАСТ-3, в – госсипол шайыры, г – вермикулит.

Полимерлік модификатор ретінде полиэтилен қолданылды. Полиэтилен термопластикалық қасиеттерге ие және битуммен араласқанда дисперстік полимерлік фаза түзеді. Полиэтилен битум матрицасында полимерлік құрылым қалыптастырады, алайда оның біркелкі таралуы пластификатордың қатысуына тәуелді болуы мүмкін. Осыған байланысты пластификатор

полимер фазасының дисперсиясына және жүйенің жалпы құрылымдық тұрақтылығына жанама түрде әсер етеді.

Зертханалық тәсілмен алынған полимер-битумды байланыстырғыштардың үлгілерінің қасиеттерін зерттеу үшін оны біртекті күйге келтіргеннен кейін, бірден байланыстырғыш берілген ыдыстан зертханалық зерттеулерге үлгілер алынды.

Полимер-битумды байланыстырғыштардың қасиеттерін бағалау үшін инфрақызыл спектроскопия және пенетрацияны анықтау әдістері қолданылды. ИК-спектрлер функционалдық топтардың өзгерісін және компоненттердің молекулааралық әрекеттесуін талдау мақсатында тіркелді. Физика-механикалық сипаттамалар 25°C температурада пенетрация көрсеткішін анықтау арқылы бағаланды. Барлық нәтижелер салыстырмалы талдау негізінде өңделді.

Инфрақызыл Фурье-спектрлер Shimadzu IRPrestige-21 спектрометрінде Pike Technologies компаниясының бұзылған толық ішкі шағылысу (НПВО, ATR) приставкасын қолдану арқылы алынды. Полимер-битумды байланыстырғыштарға иненің ену тереңдігі «МЕСТ 11501-78 – Мұнай битумдары бойынша анықталды. ПНБ-02М пенетрометрінде иненің ену тереңдігін анықтау әдісі». [26]

Модификациялаушы компоненттердің пайыздық мөлшері битум массасына шаққанда есептелді. Зерттеу барысында үш түрлі полимер-битумды байланыстырғыш құрамы дайындалды. Олар 5-суретте (а) көрсетілген құрылғы арқылы алынды, (б) олардың сыртқы көрінісі.

ПББ-1: битум – 500 г, Унипласт-3 – 3%, полиэтилен – 3%. ПББ-2: битум – 500 г, Унипласт-3 – 3%, полиэтилен – 2%, вермикулит – 3%. ПББ-3: битум – 220 г, госсипол шайыры – 3,5%, полиэтилен – 2,3%.



а



ПББ-1

ПББ-2

ПББ-3

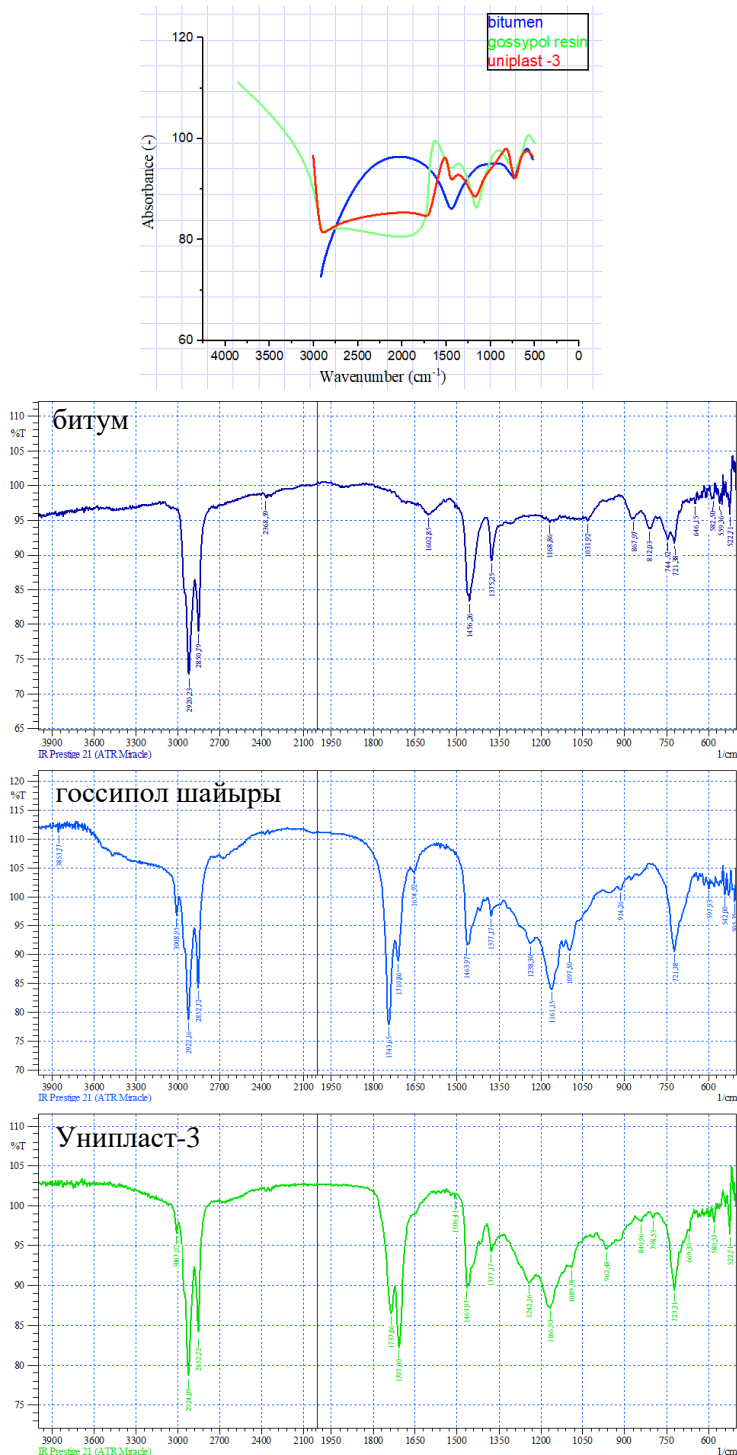
б

Сурет 5. а – ПББ-тарды алуға орнатылған құрылғы; б- 3 түрлі рецептуралы ПББ-тың сыртқы көрінісі

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Жүйе компоненттерінің өзара әрекеттесу ерекшеліктерін анықтау үшін битум, Унипласт-3 және госсипол шайырының инфрақызыл спектрлері зерттелді.

Бастапқы үлгінің ИҚ-Фурье спектрі мұнай битумдарына тән жұтылу жолақтарымен сипатталады. Спектрде 2920 және 2850  $\text{cm}^{-1}$  аймағында алифатты тізбектердің С–Н валенттік тербелістеріне сәйкес жолақтар байқалады. Сонымен қатар 1456 және 1375  $\text{cm}^{-1}$  аймақтарында –СН<sub>2</sub>– және –

СН<sub>3</sub> топтарының деформациялық тербелістері анық көрінеді. Ароматтық құрылымдарға тән жолақтар шамамен 1600 см<sup>-1</sup> және 870–810 см<sup>-1</sup> диапазонында тіркеледі.



Сурет 6. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы битум, госсипол және Унипласт-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері

1700  $\text{cm}^{-1}$  шамасындағы карбонил тобына ( $\text{C}=\text{O}$ ) сәйкес келетін қарқынды жолақтың болмауы материал құрамында айқын тотығу үдерістерінің немесе химиялық модификацияның байқалмайтынын көрсетеді.

Госсипол шайырының ИҚ-Фурье спектрі оның химиялық табиғатына тән сипаттамалық жұтылу жолақтарымен ерекшеленеді. Спектрде шамамен 3400  $\text{cm}^{-1}$  аймағында гидроксил топтарының ( $\text{O}-\text{H}$ ) валенттік тербелістеріне сәйкес келетін кең жолақ байқалады. Сонымен қатар 1730  $\text{cm}^{-1}$  маңында карбонил топтарына ( $\text{C}=\text{O}$ ) тән айқын жұтылу жолағы тіркеледі. 1600  $\text{cm}^{-1}$  аймағында ароматтық сақиналардың  $\text{C}=\text{C}$  тербелістеріне сәйкес сигналдар көрінеді, ал 1200–1000  $\text{cm}^{-1}$  диапазонында  $\text{C}-\text{O}$  байланыстарына тән жолақтар анық байқалады.

Аталған спектралдық белгілер госсипол шайырының фенолдық және ароматтық құрылымға ие екенін дәлелдейді және зерттелген үлгінің бастапқы, модификацияланбаған күйде екенін көрсетеді.

Үлгінің ИҚ-Фурье спектріне шамамен 1730  $\text{cm}^{-1}$  аймағында күрделі эфирлерге тән карбонил тобының ( $\text{C}=\text{O}$ ) айқын жұтылу жолағы байқалады. Сонымен қатар 1240–1100  $\text{cm}^{-1}$  диапазонында  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  және  $\text{C}-\text{O}$  байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келетін қарқынды жолақтар тіркеледі. 2920–2850  $\text{cm}^{-1}$  аймағында алифаттық  $\text{C}-\text{H}$  байланыстарының тербелістері көрінеді.

Аталған спектралдық белгілер зерттелген заттың эфирлік табиғатын растайды және оның химиялық құрамы Унипласт-3 пластификаторының құрылымдық ерекшеліктерімен сәйкес келетінін көрсетеді. Келесі 6-суретте ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы битум, госсипол және Унипласт-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері берілген.

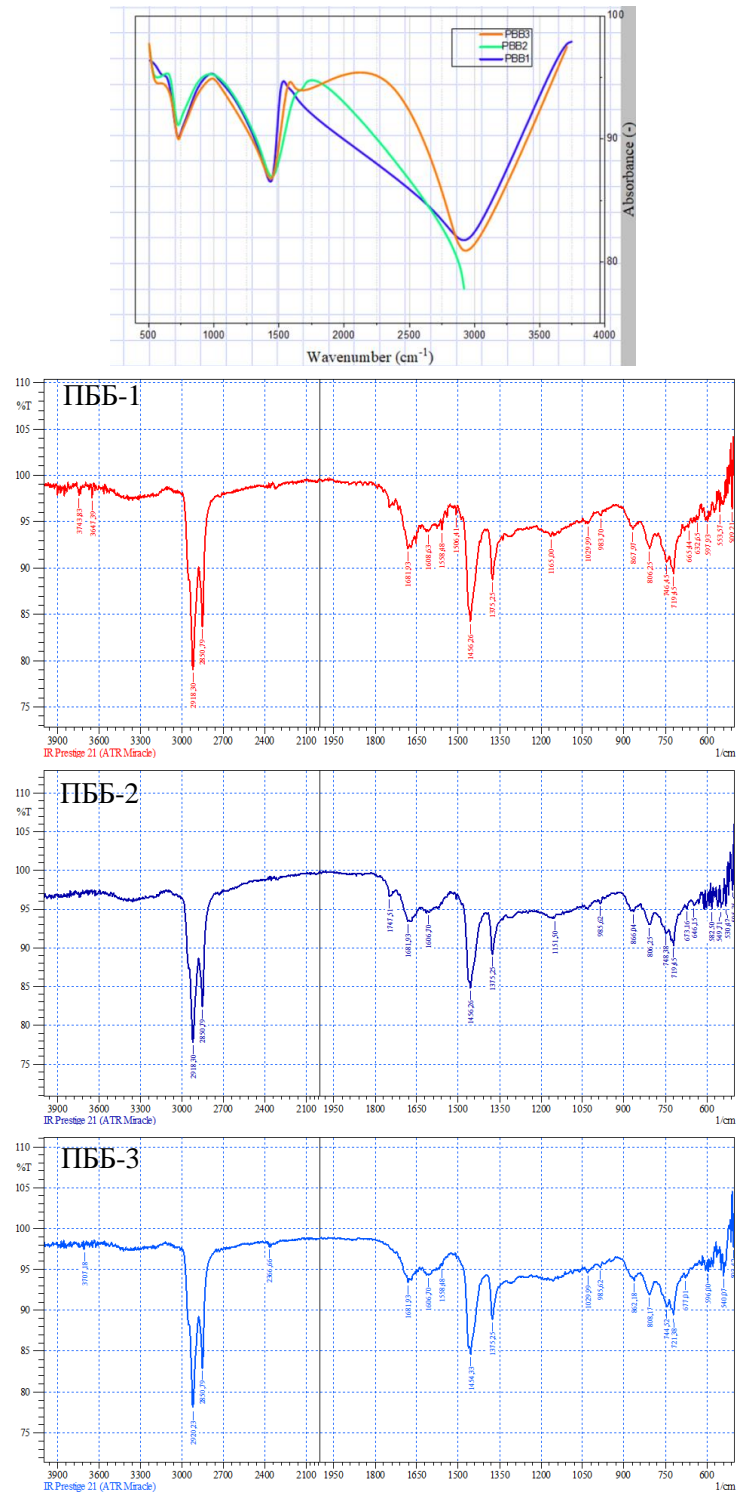
Келесі кезеңде модификацияланған полимер-битумды байланыстырғыштардың ПББ-1, ПББ-2, және ПББ-3-тің ИҚ-Фурье талдаулары жүргізілді. ПББ-1 спектрі мұнай битумына тән алифаттық және ароматтық жолақтармен сипатталады; онда айқын білінетін қарқынды карбонилді және эфирлік тербелістер жоқ, бұл айтарлықтай химиялық модификацияның жоқтығын білдіреді. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы жаңа функционалды топтардың түзілуін анықтамады. Модификация негізінен физика-механикалық сипатқа ие.

ПББ-2-нің ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы жаңа функционалды топтардың түзілмегенін көрсетті. 1735  $\text{cm}^{-1}$  және 1100–900  $\text{cm}^{-1}$  аймағындағы жолақтар қарқындылығының байқалған өзгерістері пластификатор мен минералды толтырғыштың (вермикулиттің) болуына байланысты, бұл модификацияның физикалық-дисперсиялық сипатын растайды.

ПББ-3-тің ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы битумға тән алифаттық және ароматтық жолақтардың бар екенін көрсетті. Түйіндес карбонил топтарына сәйкес келетін  $\sim 1680$   $\text{cm}^{-1}$  аймағында жолақтың пайда болуы, сондай-ақ ароматтық аймақтың ( $\sim 1600$   $\text{cm}^{-1}$ ) күшеюі госсипол шайырының болуымен байланысты. Унипласт-3 қосылған құрамдармен салыстырғанда, аталған үлгіде спектрлік өзгерістер анағұрлым айқын байқалады. Бұл жүйеде молекулааралық өзара әрекеттесулердің белсендірек жүруі мүмкін екенін көрсетеді. Жаңа функционалды топтар анықталған жоқ, бұл модификацияның негізінен физикалық-дисперсиялық сипатта екенін білдіреді. Осы 3 ПББ-тың спектр жолақтары бейнеленген 7-суретте көрсетілген.

ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы Унипласт-3, госсипол шайыры, полиэтилен және вермикулитті енгізу битум матрицасында жаңа химиялық

байланыстардың түзілуіне әкелмейтінін көрсетті. Спектрлер бастапқы битум мен қоспалар жолақтарының суперпозициясы (қабаттасуы) болып табылады.



Сурет 7. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы ПББ-1, ПББ-2 және ПББ-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері

Жалпы алғанда, спектрлерді салыстырмалы талдау нәтижелері битумды әртүрлі қоспалармен модификациялау барысында түбегейлі жаңа химиялық құрылымдардың түзілмейтінін көрсетті. Дегенмен, сипаттамалық жолақтардың арақатынасы мен қарқындылығы өзгереді. Бұл модификатордың табиғатына байланысты молекулааралық әрекеттесулер дәрежесінің әртүрлі болатынын аңғартады.

Полимер-битумды байланыстырғыштардың консистенциясына пластификатор және модификатор қоспалардың әсерін бағалау мақсатында 25°C температурада пенетрация стандартты әдістеме бойынша (МЕСТ 11501-78 – Мұнай битумдары бойынша анықталды. ПНБ-02М пенетрометрінде иненің ену тереңдігін анықтау әдісі) анықталды. Алынған нәтижелер 3-кестеде берілген.

Кесте 3

3 түрлі ПББ-тардың пенетрация көрсеткіші

Құрамы	Пенетрация (0,1 мм)	Өзгеріс, %
Битум	70	–
ПББ-1	85	+21
ПББ-2	75	+7
ПББ-3	80	+14

ПББ-1 құрамына Унипласт-3 енгізу нәтижесінде пенетрация бастапқы битуммен салыстырғанда 21%-ға артты. Көрсеткіштің өсуі жүйенің құрылымдық қаттылығының төмендеуін және дисперстік ортаның қозғалғыштығының артуын көрсетеді.

Алынған нәтижелер Унипласт-3-тің айқын пластификациялаушы әсерін дәлелдейді. Пластификатор асфальтен-шайырлы матрицадағы молекулааралық әрекеттесулерді әлсіретіп, құрылым элементтерінің еркін қозғалуына ықпал етеді деп болжам жасауға болады. Бұл қорытынды ИК-спектроскопия нәтижелерімен де үйлеседі, яғни жаңа химиялық байланыстардың түзілуі байқалмайды, өзгерістер негізінен жолақ қарқындылығының ауытқуымен сипатталады.

ПББ-2 үлгісінде пенетрация 75 (0,1 мм) мәнін көрсетті, бұл бастапқы битумнан жоғары болғанымен, ПББ-1-ге қарағанда төмен. ПББ-1-мен салыстырғандағы төмендеу вермикулиттің армирлеуші әсерімен түсіндіріледі.

Минералды толтырғыш дамыған беттік құрылымға және силикатты табиғатқа ие бола отырып, жүйенің кеңістіктік қаттылығын арттырады. Осылайша, берілген құрамда Унипласт-3-тің пластификациялаушы әсері вермикулиттің құрылымдаушы ықпалымен ішінара теңгеріледі.

ПББ-3 құрамының пенетрациясы 80 (0,1 мм) құрап, бастапқы битуммен салыстырғанда 14%-ға жоғары болды. Бұл нәтиже госсипол шайырының байланыстырғыш құрылымына модификациялаушы әсерін көрсетеді.

Унипласт-3 қосылған жүйелерден айырмашылығы, бұл жағдайда өзгерістер тек пластификациямен ғана емес, шайырдың функционалды топтарының молекулааралық әрекеттесулерге қатысуымен байланысты болуы мүмкін. Мұндай ерекшеліктер ИК-спектрлік талдау нәтижелерімен де сәйкес келеді, онда гидроксил және ароматты фрагменттерге тән қосымша жолақтар байқалады.

Жүргізілген талдау нәтижелері Унипласт-3 енгізілген жағдайда ең жоғары пластификациялаушы әсердің байқалатынын көрсетті (ПББ-1).

Вермикулиттің қосылуы жүйенің құрылымдық қаттылығын арттырады, ал госсипол шайыры күрделірек молекулааралық әрекеттесулердің қалыптасуына ықпал етеді.

Пенетрация көрсеткіштеріндегі өзгерістер ИК-спектроскопиялық зерттеу нәтижелерімен өзара сәйкес келеді және байланыстырғыш қасиеттерінің өзгеруі модификатор табиғатына тәуелді екенін дәлелдейді.

**Қорытынды.** Ғылыми басылымдар мен мамандандырылған салалық материалдарды талдау полимер-битум байланыстырғыштардағы пластификациялаушы қоспалар материалдың құрылымдық күйін, деформация қасиеттерін және пайдалану факторларына төзімділігін анықтайтын негізгі функционалдық рөл атқаратыны туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Олардың мақсаты тұтқырлықты реттеудің жеңілдетілген шеңберінен тыс және битум-полимер жүйесінің ішкі құрылымын қалыптастыру мен тұрақтандыруды қамтиды.

Пластификаторларды әсер ету механизмі мен химиялық табиғаты бойынша жіктеу тиімді ПББ-тар формулаларын әзірлеу үшін өте маңызды екені көрсетілді. Физикалық түрде енгізілген эфир типті пластификаторлар мен модификацияланған май компоненттері төмен температурада жарықшақтарға төзімділікке ең айқын әсер етеді, ал жоғары молекулалық қосылыстар материалдың термиялық тұрақтылығын арттыруға және төмен молекулалық салмақтағы фракциялардың миграциясына сезімталдықты төмендетуге ықпал етеді.

Пластификаторлық қоспалардың әсер ету механизмін сипаттайтын қолданыстағы теориялық тұжырымдамаларды шолу битум-полимер-пластификатор жүйесіндегі өзара әрекеттесулердің жиынтығын ескеретін механикалық модельдің практикалық қолдану мүмкіндігінің жоғары екенін көрсетті. Алынған қорытындылар пластификаторлардың көмекші компоненттер ретінде пассивті рөлін емес, байланыстырғыштың кеңістіктік құрылымын қалыптастыруға белсенді қатысуын растайды.

Полифосфор қышқылын қоса алғанда, қышқыл компоненттерді қолдана отырып, ПББ-тарды көпфакторлы модификациялауға қызығушылық артып келеді. Дегенмен, әдебиетте ұсынылған нәтижелердің басым көпшілігі зертханалық зерттеулермен шектеледі. Нақты жұмыс жағдайларында ұзақ мерзімді сынақтар туралы деректердің жетіспеушілігі ұсынылған технологиялық шешімдерді іс жүзінде енгізуге кедергі келтіреді.

ТМД елдеріндегі және Қазақстан Республикасындағы нарықтық жағдайды талдау пластификациялаушы қоспаларға импортқа айтарлықтай тәуелділікті, сондай-ақ өндіріс көлемі мен өнімдердің химиялық құрамы туралы сенімді статистикалық ақпараттың жетіспеушілігін анықтады. Бұл факторлар пайдаланылатын материалдарды объективті бағалау мүмкіндігін шектейді және климаттық қиындықтары бар аймақтарға бейімделген құрамдарды енгізуді баяулатады.

Әдеби деректерді жалпылау нәтижесінде әрі қарайғы зерттеулердің перспективалық бағыты пластификацияның тұрақты, ыстыққа төзімді және экологиялық бейтарап жүйелерін әзірлеу болып табылатыны анықталды. Меншікті рецептураларды қалыптастыру, заттай сынақтар жүргізу және эксплуатациялық және экономикалық көрсеткіштерді қоса алғанда, тиімділіктің кешенді критерийлерін пайдалана отырып, қартаю процестерін зерттеу басым міндеттер болып табылады. Жүргізілген зерттеу нәтижелері полимер-битум байланыстырғыштар құрамындағы пластификациялаушы және модификациялаушы қоспалардың материалдың құрылымдық күйіне

және консистенциялық қасиеттеріне тікелей әсер ететінін көрсетті. Унипласт-3 енгізілген құрамда пенетрация көрсеткішінің артуы жүйенің құрылымдық қаттылығының төмендегенін және пластификациялау әсерінің айқын байқалатынын дәлелдейді.

ИК-Фурье спектроскопия нәтижелері жаңа химиялық қосылыстардың түзілмейтінін, алайда сипаттамалық жолақтардың қарқындылығы өзгеретінін көрсетті. Бұл өзгерістер молекулааралық әрекеттесулердің әлсіреуімен және битум матрицасының құрылымдық қозғалғыштығының артуымен түсіндіріледі. Осылайша, Унипласт-3 битум-полимер жүйесінде физикалық сипаттағы пластификатор ретінде әрекет етеді.

Вермикулит қосылған құрамда пенетрацияның салыстырмалы түрде төмендеуі минералды толтырғыштың құрылымдаушы және армирушы әсерімен байланысты екені анықталды. Бұл жағдайда пластификациялаушы және құрылымдаушы факторлардың теңгерімі қалыптасады.

Госсипол шайыры негізіндегі құрамда спектрлік өзгерістердің айқынырақ байқалуы және пенетрация мәнінің модификациялануы функционалдық топтардың молекулааралық әрекеттесулерге қатысу ықтималдығын көрсетеді. Бұл жүйеде пластификациялау мен құрылымдану құбылыстарының қатар жүруі мүмкін.

Осылайша, зерттеу нәтижелері пластификаторлардың полимер-битум байланыстырғыштарда тек тұтқырлықты реттеуші емес, кеңістіктік құрылымды қалыптастыруға ықпал ететін белсенді компонент екенін дәлелдейді. Қоспалардың химиялық табиғаты олардың әсер ету механизмін айқындайды және байланыстырғыштың эксплуатациялық қасиеттеріне тікелей ықпал етеді.

Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасының күрт континенталды климат жағдайында қолдануға бейімделген полимер-битум байланыстырғыштардың тиімді рецептураларын қалыптастыруға негіз бола алады.

Зерттеудің келешектегі бағыты ретінде картаю процестерін модельдеу, ұзақ мерзімді термиялық тұрақтылықты бағалау және құрылымдық өзгерістерді кешенді физика-химиялық әдістермен зерттеу ұсынылады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers. – 3rd ed. – New York: Wiley, 1980. – 641 p.
2. Sperling L.H. Introduction to Physical Polymer Science. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2006. – 845 p.
3. Braun D. Plastics Additives and Modifiers Handbook. – Berlin: Springer, 2001. – 556 p.
4. Wypych G. Handbook of Plasticizers. – 2nd ed. – Toronto: ChemTec Publishing, 2017. – 889 p.
5. Vieira M., Altenhofen M., Oliveira L.M., et al. Natural-based plasticizers and biopolymer films // European Polymer Journal. – 2011. – Vol. 47, No. 3. – P. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
6. Rahman M., Brazel C.S. The plasticizer market and sustainability // Progress in Polymer Science. – 2004. – Vol. 29, No. 12. – P. 1223-1248. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2004.10.001.
7. Titov V., Zaumanis M., Rudenskaya I. Effect of plasticizers on bitumen rheology and modification efficiency // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 287. – Art. 123202.

8. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2009. – Vol. 145, Nos. 1–2. – P. 42-82. DOI: 10.1016/j.cis.2008.08.011.
9. Airey G.D. Rheological properties of styrene–butadiene–styrene polymer modified road bitumens // *Fuel*. – 2003. – Vol. 82, No. 14. – P. 1709-1719. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00146-7.
10. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna J. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2015. – Vol. 224. – P. 72-112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010.
11. Heudorf U., Mersch-Sundermann V., Angerer J. Phthalates: Toxicology // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. – 2007. – Vol. 210, No. 5. – P. 623-634. DOI: 10.1016/j.ijheh.2007.07.011.
12. Chang Y., Luo Y., Guo S. Bio-plasticizers for PVC // *Green Chemistry*. – 2016. – Vol. 18, No. 12. – P. 3631-3648. DOI: 10.1039/C6GC00949B.
13. Transparency Market Research. Global Plasticizers Market Report [Electronic resource]. – Albany: TMR, 2024.
14. Fortune Business Insights. Plasticizers Market Size, Share & Industry Analysis by Type, Application and Regional Forecast, 2023–2032. – Pune: Fortune Business Insights, 2023.
15. Mordor Intelligence. Plastic Additives Market – Growth, Trends, Forecasts (2024–2030). – Hyderabad: Mordor Intelligence, 2024.
16. Markets and Markets Research. Polymer Modified Bitumen Market – Global Forecast to 2030. – Northbrook: MarketsandMarkets, 2023.
17. Lu X., Redelius P. Compositional changes in asphalt oxidation // *Energy & Fuels*. – 2006. – Vol. 20, No. 2. – P. 653-660. DOI: 10.1021/ef050308t.
18. Airey G.D., Rahman M.M., Collop A.C. Fundamental performance of polymer modified bitumen // *Road Materials and Pavement Design*. – 2004. – Vol. 5, No. 2. – P. 257-273. DOI: 10.1080/14680629.2004.9689997.
19. Data Bridge Market Research. Russia Non-Phthalate Plasticizers Market – Industry Trends and Forecast to 2032. Pune: Data Bridge Market Research, 2024 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.databridgemarketresearch.com>.
20. Yilmaz M., Gungor A.G., Koksal F., et al. Aging mechanisms of polymer modified bitumen // *Journal of Materials in Civil Engineering*. – 2013. – Vol. 25, No. 6. – P. 818-826.
21. Song R., Wang H., Zhang Y., et al. Polyphosphoric acid and plasticizer modified asphalt // *Construction and Building Materials*. – 2021. – Vol. 291. – Art. 125158. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125158.
22. Li, C., Li, Z., Guo, T., Chen, Y., Liu, Q., Wang, J., Jin, L. Study on the performance of SBS/polyphosphoric acid composite modified asphalt // *Coatings*. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – Art. 72. DOI: 10.3390/coatings14010072.
23. Wei J., Zhang Y., Liu Z., et al. Low-temperature performance of polyphosphoric acid modified asphalt // *Materials*. – 2022. – Vol. 16, No. 1. – Art. 111. DOI: 10.3390/ma16010111.
24. Xue Y. Research Progress and Prospect of Polyphosphoric Acid Modified Asphalt Technology // *Advances in Research*. – 2024. – Vol. 25, No. 4. – P. 465-478. DOI: 10.9734/AIR/2024/v25i41126.
25. Liang, J., Xiang, Q., Alae, M., Xiao, F. Recent development of polyphosphoric acid composite modified asphalt in pavement // *Journal of Cleaner Production*. – 2025. – Vol. 486. – Art. 144474. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144474.
26. GOST 11501-78. Bitumny neftyanje. Metod opredeleniya glubiny pronikaniya igly [Oil bitumens. Method for determination of needle penetration depth]. – Introduced 01.01.1980. – Moscow: Standartinform, 2008. – 5 p. [in Russian].

*Материал редакцияға 10.12.25 түсті, 29.04.26 қабылданды.*

Г.А. Турлыбек<sup>1</sup>, К.К. Сырманова<sup>1</sup>, Н.М. Дәуренбек<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

### РОЛЬ ПЛАСТИФИКАТОРА В ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

**Аннотация.** В статье проанализированы пластифицирующие добавки, применяемые в составе полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), и показано их влияние на формирование реологических, структурных и эксплуатационных характеристик материала. Рассмотрены современные классы пластификаторов – сложные эфиры, нефтяные масла, полимерные добавки и биопластификаторы – с позиций совместимости с битумно-полимерной матрицей, эффективности модифицирующего действия и экологической безопасности. Установлено, что тип и дозировка пластификатора существенно определяют температурную чувствительность, фазовую стабильность и устойчивость ПБВ к термоокислительному старению. Подчеркнута научная и практическая значимость разработки рецептур, адаптированных к условиям резко континентального климата Казахстана и стран СНГ, а также необходимость проведения долговременных полевых исследований. Полученные обобщения обосновывают целесообразность комплексной оценки эксплуатационных, экономических и экологических аспектов при выборе пластифицирующих систем и формируют научную основу для оптимизации состава ПБВ.

**Ключевые слова:** полимерно-битумные вяжущие, пластификаторы, комбинированная модификация, совместимость, дорожные покрытия, климатическая устойчивость, деформационная стойкость, долговечность.

G.A. Turlybek<sup>1</sup>, K.K. Syrmanova<sup>1</sup>, N.M. Daurenbek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

### THE ROLE OF PLASTICIZERS IN POLYMER-BITUMEN BINDERS

**Abstract.** This article analyzes plasticizing additives used in polymer-bitumen binders (PBBs) and demonstrates their influence on the rheological, structural, and performance characteristics of the material. Modern classes of plasticizers – esters, petroleum oils, polymer additives, and bioplasticizers – are considered in terms of compatibility with the bitumen-polymer matrix, the effectiveness of their modifying action, and environmental safety. It is established that the type and dosage of plasticizer significantly determine the temperature sensitivity, phase stability, and resistance of PBBs to thermal-oxidative aging. The scientific and practical importance of developing formulations adapted to the sharply continental climate of Kazakhstan and the CIS countries, as well as the need for long-term field studies, are emphasized. The obtained conclusions substantiate the feasibility of a comprehensive assessment of operational, economic, and environmental aspects when selecting plasticizing systems and form a scientific basis for optimizing PBB composition.

**Keywords:** polymer-bitumen binders, plasticizers, combined modification, compatibility, road surfaces, climate resistance, deformation resistance, durability.