

Авторлар туралы ақпарат:

Биби-Мариям Шералиқызы Хасанходжаева – «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: bibi-mariyam93@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3568-2043>.

Гузалия Фаритовна Сагитова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

Абдужалол Сидикович Сидиков – Химия ғылымының докторы, «Жалпы химия, мұнай және газ химиясы» кафедрасының профессоры, И.М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Аяулым Нұрланқызы Тілеуберді – PhD доктор, «Экология» кафедрасының аға оқытушысы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: 17tile@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2275-5493>.

Айсұлу Тенелханқызы Қабылбекова – магистр, «Жаратылыстану, дене шынықтыру және дизайн» секторының аға оқытушысы, Мирас университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aika_kabil@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4167-6800>.

Information about authors:

Bibi-Mariyam Khassankhojayeva – doctoral student of the department «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auevov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: bibi-mariyam93@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3568-2043>.

Guzaliya Sagitova* – Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auevov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

Abdujalol Sidikov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, of the Department «General Chemistry, Chemistry of Oil and Gas» branch of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) branch in Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Ayaulym Tileuberdi – PhD, senior lecturer of the Department «Ecology» of M. Auevov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: 17tile@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2275-5493>.

Aisulu Kabylbekova – Master's Degree, Senior Lecturer in the «Natural Sciences, Physical Education and Design» sector, Miras University, Republic of Kazakhstan; e-mail: aika_kabil@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4167-6800>.

Поступила в редакцию 20.01.2025

Поступила после доработки 11.04.2025

Принята к публикации 14.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-54](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-54)

FTAXP: 61.51.17



А.Ф. Сыздық^{1*}, Е.А. Жакманова¹, Г.Ж. Сейтенова¹, Р.М. Дюсова²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтпаева к-сі 2

²Торайғыров университеті КеАҚ,
014000, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі 64

*e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com

БИТУМДЫ МОДИФИКАЦИЯЛАУДАҒЫ ҚАЙТА ӨНДЕЛГЕН МАТЕРИАЛДАР ЖӘНЕ ЦИРКУЛЯРЛЫ ЭКОНОМИКАНЫ ІСКЕ АСЫРУ

Аңдатпа: Бұл мақалада циркулярлы экономика тұжырымдамасы аясында битумды байланыстырушыларды модификациялау үшін қайта өңделген материалдарды пайдалану мүмкіндіктері қарастырылады. Битумды модификациялау мақсатында полимер қалдықтары мен резеңке үгіндісі қолданылды. Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, бұл қоспалар битумның термотұрақтылығын, икемділігін және тотығуға төзімділігін жақсартады. Сонымен қатар, модификацияланған битумның пайдалану сипаттамалары едәуір жақсарып, оның морт сыну температурасы төмендеп, жұмсару температурасы жоғарылайтыны анықталды. Оптималды модификатор концентрациялары белгіленіп, олардың битум құрылымына әсері зерттелді.

Зерттеу нәтижесінде БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасы тотығудан кейін термотұрақтылығы мен қаттылығы бойынша ең жақсы нәтижелер көрсетті. Бұл оны жоғары пайдалану талаптары бар жол жабындарында қолдануға қолайлы етеді. Алынған нәтижелер қайта өңделген материалдарды жол құрылысына енгізудің тиімділігін дәлелдеп, олардың экологиялық және экономикалық артықшылықтарын көрсетеді. Циркулярлы экономика қағидаттарына сәйкес, қайта өңделген полимерлерді пайдалану табиғи ресурстарды ұтымды тұтынуға, қалдықтарды азайтуға және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге ықпал етеді. Жол құрылысында мұндай инновациялық тәсілдер төзімді әрі ұзақ мерзімді жабындарды құруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл зерттеу битумды модификациялаудың инновациялық әдістерін ұсыну арқылы құрылыс материалдарының сапасын жақсартуға және олардың ұзақ мерзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осылайша, қайта өңделген материалдарды пайдалану арқылы жол жабындарының беріктігін арттыруға, қоршаған ортаға келтірілетін зиянды азайтуға және экономикалық даму мақсаттарына қол жеткізуге болады.

Түйін сөздер: Жол жабындары, тұрақтылық, құрылыс материалдары, полимермен модификацияланған битум, асфальтобетон.

Кіріспе

Битумды полимерлермен модификациялау бойынша зерттеулер 1960-1970 жылдары басталып, жол жабындарының беріктігін арттыру мақсатында термотұрақтылықты, деформацияға төзімділікті және тотығуға қарсы тұрақтылықты жақсартуға бағытталды. Алғашқы кезеңдерде стирол-бутадиен-стирол (SBS), этиленвинилацетат (EVA), полипропилен (PP), резеңке үгіндісі және полиэтилен (PE) қолданылды. Бұл модификациялар битумды климаттық және пайдалану жағдайларына бейімдеуге мүмкіндік беріп, технологияның бүкіл әлемде кең таралуына ықпал етті.

SHRP бағдарламасы Superpave технологиясының негізін қалады. Оны енгізу кезеңдеріне қоспаларды жобалау әдістемесін әзірлеу, PG классификациясы (1987-1993), пилоттық сынақтар (1993-2000), ауқымды енгізу (2000-2010) және халықаралық кеңею (2010 жылдан бастап), соның ішінде Қазақстандағы қолдану жатады. Superpave технологиясы полимермен модификацияланған битумдар мен қайта өңделген материалдарды біріктіріп, бұл әдістің жаһандық деңгейде мойындалуына ықпал етті.

Қазіргі зерттеулер көрсеткендей, полимер қалдықтарын (PET, HDPE, LDPE, PS) пайдалану туралы зерттеулерде олардың битумның жұмсару температурасын жоғарылататыны, морт сынуды төмендететіні және адгезияны жақсартатыны көрсетілген. Мысалы, [1] зерттеуінде полимер қалдықтарын құрылыс материалдарының құрамына енгізу арқылы олардың қасиеттерін жақсарту мүмкіндігі қарастырылған. Бұл зерттеу мақсаты полимер қалдықтарының химиялық өңдеу өнімдерін құрылыс материалдарының құрамына қосу мүмкіндігін зерттеу болғанын айта аламыз. [2] еңбекте екіншілік полиэтилентерефталатты (PET) битумды модификациялауға пайдалану және оның дисперсиясын зерттеу мақсаты қойылған.

Полимерлік қалдықтар (мысалы, аяқ киім табандары, 3D-принтер қалдықтары) аз шығынмен тиімді нәтиже беретіні анықталған. Бұл зерттеудің мақсаты қалдық шиналардан алынған полимермен қапталған резеңке қосылған асфальт қоспаларының экологиялық әсерін бағалау болғанын айта аламыз [3]. Бұл зерттеуде асфальт қоспаларына полимермен қапталған резеңке үгіндісін енгізудің экологиялық және техникалық тиімділігі зерттелген. Сонымен қатар, пластикалық қалдықтарды жол құрылысында қолдану полигондарға түсетін жүктемені азайтып, көміртек ізін төмендетеді және жабындардың беріктігін арттырады [4-7]. [4] зерттеуінде пластмассаларды қайта өңдеп, жол жабындарына шикізат ретінде қолдану ұсынылса, [5] зерттеуде қалдық ПЭТ-тің битумдық байланыстырғыштағы жоғары температуралық сипаттамалары зерттелген. [6] жұмысында полиэтилен қалдықтарының асфальт қоспасына әсері бағаланған, ал [7] зерттеуінде қалдық полимерлердің жол жабындарындағы функционалды қолдану мүмкіндігі қарастырылған.

Резеңке үгіндісі (GTR) төмен температуралық қасиеттерді жақсартып, жарықтарға төзімділікті арттырады, алайда оның сақталуы белгілі бір қиындықтар туғызады. [8] зерттеуінде цемент шаңы мен ұшпа күлмен модификацияланған битум байланыстырғыштарының сипаттамалары зерттелген. Пиролизденген резеңке қалдықтарын (WRO) қолдану битумның пластикалығын арттырады, бірақ тұрақтылықты күшейту үшін қосымша өңдеуді қажет ететіні туралы зерттелген [9].

Өнеркәсіптік қалдықтар, мысалы, мұнай шламы, күл және цемент шаңы, битумды модификациялауда әлеуетке ие. [10] зерттеуінде битумның тозуға төзімділігін арттыру мақсатында пластикалық қалдықтарды қолдану ұсынылған. Мұнай шламы, әсіресе SBS және EVA сияқты полимерлермен бірге қолданылғанда, битумның сипаттамаларын жақсартады. Күл мен цемент шаңы жол жабынының тұрақтылығын арттырып, аязға төзімділікті күшейтетіні анықталған [11].

Өмірлік циклді талдау (LCA) көрсеткендей, қайта өңделген материалдарды қолдану жабындардың қызмет ету мерзімін ұзартуға, асфальт қабаттарының қалыңдығын азайтуға және өндіріс шығындарын төмендетуге ықпал ететіндігі дәлелденген [12-13]. [12] еңбекте резеңке үгіндісін өңдеудің әртүрлі механикалық әдістері қарастырылса, [13] зерттеуінде балауызбен модификацияланған битум негізіндегі асфальтты нақты автожолда қолданудың тиімділігі зерттелген. Қайта өңделген қалдықтарды қолдану жол құрылысының экологиялық көрсеткіштерін жақсартып, тұрақты технологиялардың дамуына серпін беретіндігі қарастырылған [14-16].

Қазақстанда битумды модификациялау саласындағы зерттеулер шетелдік жұмыстарға қарағанда аз болғанымен, белгілі бір ғылыми ізденістер бар. Полимерлермен модификацияланған битумды қолдану жол құрылысы саласындағы перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. Әсіресе, резеңке үгіндісін пайдалану экологиялық жағдайға оң әсерін тигізеді. Мысалы, отандық ғалымдар битумды модификациялау үшін полимерлерді қолдану мүмкіндігін қарастырып, оның климаттық жағдайларға бейімделуіне әсерін зерттеген. Алайда, қайта өңделген қалдықтар, соның ішінде пластикалық және резеңке материалдарды пайдалану бойынша кешенді зерттеулер жүргізілмеген. Полимермен модификацияланған битумды байланыстырушы жоғары термотұрақтылыққа, деформацияға төзімділікке және жол жабындарының ұзақ мерзімділігіне ие, бұл Қазақстанның экстремалды климаттық жағдайларында ерекше маңызды. Зерттеудің мақсаты – екіншілік материалдар (резеңке үгіндісі) негізінде полимермен модификацияланған битумды байланыстырушы әзірлеу.

Зерттеу шарттары мен әдістері

Материалдар ретінде жоғары тұтқырлығымен ерекшеленетін және әртүрлі климаттық жағдайларда қолдануға қажетті қасиеттерге ие БНД 60/90 маркалы битум пайдаланылды. Ол «Павлодар мұнай-химия зауыты» ЖШС (Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.) және «Caspi Bitum» ЖШС (Қазақстан Республикасы, Ақтау қ.) ұсынған. Бұл битум жол жабындарын өндіруде кеңінен қолданылады.

Келесі материал ретінде FPMB маркалы резина полимер-битумды байланыстырғышты (ПББ) дайындау процесінде модификатор ретінде қолданылды. Бұл резина Қытайдан импортталған. FPMB зерттеу кезіндегі негізгі мақсаты – қоспаның тұтқырлығын реттеу және оның технологиялық сипаттамаларын жақсарту. Аталған материалды пайдалану ПББ-ның адгезиялық қасиеттерін арттырып, тотығу процестеріне төзімділігін күшейтеді [17-18]. FPMB қоспаға қатаң бақыланатын жағдайларда енгізіліп, полимер-битумды байланыстырғыштың сапалық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік берді.

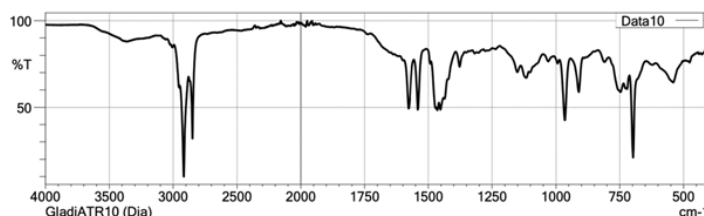
Қоспаларды дайындау кезінде алдын ала тәжірибенің тазалығы мен дәлдігін қамтамасыз ету үшін араластыруға арналған банкалар жуылып, кептірілді. Қолданар алдында олардың ластанудан және ылғалдан таза екендігі тексерілді. Банкаға таңдалған маркадағы битум құйылып, оған битум массасының 4-9%-ын құрайтын FPMB қосылды. Әр қоспаны диспергатор көмегімен 1-2 сағат бойы араластыру жүргізілді, бұл компоненттердің біркелкі таралуын қамтамасыз етті. Қоспа толық біртекті болғанша мұқият араластырылды.

Зерттеу әдістеріне тоқталсақ, қоспаның құрамын анықтау үшін BRUKER XRF Jaguar 600 құрылғысы қолданылды (1-сурет). S6 JAGUAR төрт талдау кристалын және екі детекторды қолдайды, бұл ppm-ден 100%-ға дейінгі концентрация диапазонында жылдам көпэлементті талдауға мүмкіндік береді.

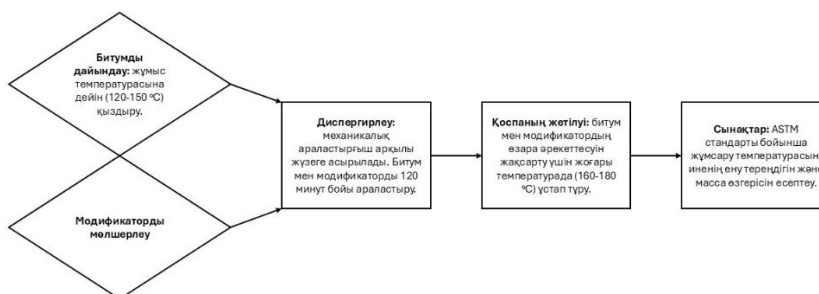
Материалдың химиялық құрамын және құрылымдық қасиеттерін зерттеу үшін IRTaser-100 қолданылды. Бұл жоғары өнімділігі бар Фурье түрлендіру инфрақызыл спектрометрі (FTIR), материалдардың дәл талдауына арналған (2-сурет). Оның негізгі ерекшеліктерінің бірі – FTIR талдауына арналған халықаралық стандарттарға сәйкестігінде. Және ПББ қоспасын дайындау технологиясының кезеңдері (3-сурет) көрсетілген.

Solution		Пробоподготовка		Расчет		Отображение		Вид	
SMART-QUANT WD (8)		Значения		Соединения		Показать необнаруженные		Отображение	
Методика = SMART Basic Ок		Пробоподготовка = Fusion ...		Опции		Show Range/ShowRule		Расположение	
Введенные данные		Основа		Оригинальный образец		Расчитать		Quant	
								Скрыть	
Z	Формула	Режим расчета	Линия	Концентрация (%)	Стат.ошибка (%)	LLD (PPM)	I net (cps/mA)	Инт. обшая (cps...)	I big (cps/mA)
20	CaO	XRF	Ca KA1/SMART-Q...	5.49 %	± 0.00137 %	120 PPM	832.60 cps/mA	865.08 cps/mA	32.488 cps/mA
15	P2O5	XRF	P KA1/SMART-Q...	11.85 %	± 0.00247 %	196 PPM	235.31 cps/mA	239.09 cps/mA	3.7795 cps/mA
14	SiO2	XRF	Si KA1/SMART-Q...	4.23 %	± 0.00182 %	227 PPM	71.005 cps/mA	74.415 cps/mA	3.4094 cps/mA
12	MgO	XRF	Mg KA1/SMART-Q...	0.46 %	± 0.00232 %	620 PPM	5.1610 cps/mA	17.352 cps/mA	12.191 cps/mA
11	Na2O	XRF	Na KA1/SMART-Q...	0.72 %	± 0.00514 %	1073 PPM	2.8639 cps/mA	8.0082 cps/mA	5.1443 cps/mA
16	SO3	XRF	S KA1/SMART-Q...	76.34 %	± 0.00407 %	148 PPM	3025.1 cps/mA	3032.6 cps/mA	7.4887 cps/mA
26	Fe2O3	XRF	Fe KA1/SMART-Q...	0.10 %	± 0.000296 %	87.4 PPM	54.978 cps/mA	295.98 cps/mA	241.00 cps/mA
13	Al2O3	XRF	Al KA1/SMART-Q...	0.33 %	± 0.00154 %	515 PPM	8.3549 cps/mA	42.029 cps/mA	33.674 cps/mA
72	HfO2	XRF	Hf LA1/SMART-Q...	0.15 %	± 0.000740 %	182 PPM	52.860 cps/mA	512.82 cps/mA	459.96 cps/mA

1-сурет – XRF әдісімен жүргізілген FPMB талдау нәтижелері



2-сурет – FPMB ИҚ-Фурье спектроскопиясының нәтижелері



3-сурет – Қоспа дайындалуының технологиялық схемасы

EN 12607-1 [17] стандартына сәйкес, жоғары температура мен ауаның әсерінен болатын тотығу (RTFOT әдісі) анықталды. Полимер-битумдық байланыстырғыштардың (ПББ) тотығу процестерін бағалау үшін RTFOT сынақ пеші (Rolling Thin Film Oven Test), 20-25720 моделі қолданылды.

Иненің ену тереңдігін 25°C температурада (кемінде 0,1 мм) анықтау ASTM D5 [18] стандартына сәйкес жүргізілді, ол үшін Infratest компаниясының 20-20670 үлгісіндегі автоматтандырылған цифрлық пенетрометр пайдаланылды.

Жұмсару температурасы («Сақина және шар» әдісі бойынша) Infratest автоматтандырылған құрылғысы арқылы анықталды, ол ASTM D36 / AASHTO T53 [19] стандартының талаптарына сәйкес келеді.

Бұл бөлімде полимер-битумды байланыстырғыштың жұмсару температурасын анықтау әдістемесі сипатталып, стандарт талаптарына сәйкес сенімді әрі қайталанатын нәтижелер алу үшін жүргізілетін процедуралар егжей-тегжейлі баяндалды.

Зерттеу нәтижелері

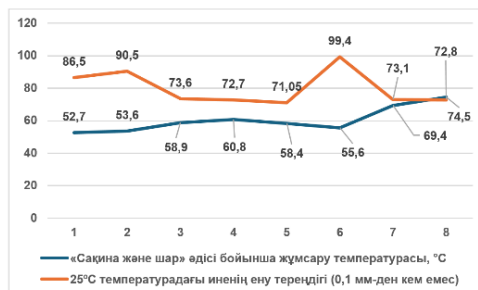
4-тен 9%-ға дейінгі қоспа мөлшері бар ПББ құрамдарының диапазоны зерттеліп, оңтайлы рецепт анықталды (кесте 1).

Кесте 1 – ПББ қоспасы үлгілерінің құрамы

Битум, %	96	95	94	94	93,5	93	92	91
FPMB, %	4	5	6	6	6,5	7	8	9

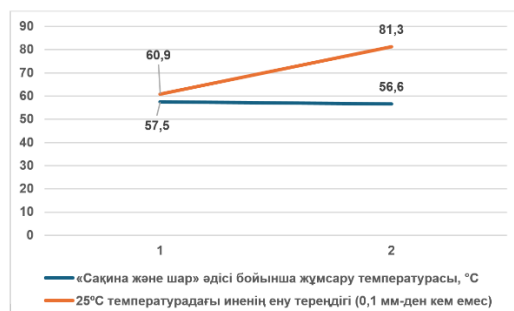
FPMB концентрациясының артуы қоспаның қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. 4-5% концентрацияда иненің ену тереңдігі қалыпты диапазонда (86,5-90,5 мм) болғанымен, жұмсару температурасы стандартты деңгейден төмен (52,7-53,6°C), бұл термотұрақтылықтың жеткіліксіздігін көрсетеді. 6% деңгейінде термотұрақтылықтың жақсаруы байқалады, бұл кезде жұмсару температурасы минималды нормативтік мәндерге (58,9°C) жетеді, ал иненің ену тереңдігінде 73,6 мм дейін төмендейді, бұл материалдың қаттылығының артуын көрсетеді.

6,5-7% концентрацияда жұмсару температурасы минималды стандарттан жоғары ($60,8^{\circ}\text{C}$), ал иненің ену тереңдігі қалыпты диапазонның төменгі шегінде қалады (71,05-72,7 мм). 7%-дан жоғары концентрациялар материалдың жұмсаруына алып келеді, алайда 9% деңгейінде жұмсару температурасы $69,4^{\circ}\text{C}$ -қа жетіп, жоғары термотұрақтылықты қамтамасыз етеді. Осылайша, 6%-дан жоғары FPMB концентрациясы қоспаның сипаттамаларын жақсартады және нормативтік көрсеткіштерге қол жеткізуге мүмкіндік береді (4-сурет).



4-сурет – FPMB концентрациясының битумның қасиетіне 60 минут араластыру кезіндегі әсері

Нәтижелер битум мен FPMB қоспасының қасиеттеріне араластыру уақытының айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. 90 минут араластыруда иненің ену тереңдігі 60,9 мм, бұл материалдың жоғары қаттылығын көрсетеді. Жұмсару температурасы – $57,5^{\circ}\text{C}$, нормативке жақын, яғни қоспаның термотұрақтылығын қамтамасыз етеді. 30 минут араластыруда иненің ену тереңдігі 81,3 мм-ге дейін артып, жұмсақ құрылымды көрсетеді. Жұмсару температурасы – $56,6^{\circ}\text{C}$, стандарттан сәл төмен, бұл термотұрақтылықтың төмендегенін білдіреді. Араластыру уақытын 90 минутқа дейін арттыру қоспаның қаттылығы мен термотұрақтылығын жақсартады, бұл материалдың оңтайлы сипаттамаларына қол жеткізу үшін маңызды екенін растайды (5-сурет).



5-сурет – Араластыру уақытының (90, 60 мин) ПББ қоспасының иненің ену тереңдігі мен жұмсару температурасына әсері

Кесте 2-де RTFOT пешінде тотығу сынағынан кейін FPMB қосылған битум үлгілерінің масса өзгерісі көрсетілген. БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасындағы масса өзгерісі 0-0,15% құрайды, бұл массаның аздап төмендеуін және тотығуға жақсы төзімділікті көрсетеді. Ал БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7% FPMB қоспасының масса өзгерісі 0-0,05% аралығында, бұл жоғары тұрақтылық пен термооксидтік тотығуға төзімділікті дәлелдейді.

Кесте 2 – 163°C температурадағы RTFOT сынағының нәтижелері

№	БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6 % FPMB			БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7 % FPMB		
	RTFOT дейінгі масса, г	RTFOT кейінгі масса, г	Масса өзгерісі, %	RTFOT дейінгі масса, г	RTFOT кейінгі масса, г	Масса өзгерісі, %
1	194	194	$M_1-0,00$	192	191,9	$M_1-0,05$
2	201,6	201,5	$M_2-0,05$	195,1	195	$M_2-0,05$
3	202,5	202,2	$M_3-0,15$	190	190	$M_3-0,00$
4	195,1	195	$M_4-0,05$	192,3	192,3	$M_4-0,00$
5	191,2	191,2	$M_5-0,00$	194,6	194,5	$M_5-0,05$
6	201,5	201,4	$M_6-0,05$	191,8	191,7	$M_6-0,05$

Екі құрам да жоғары тұрақтылық көрсетті, ал «Caspi Bitum» ЖШС битумы 7% FPMB қосылғанда ең жақсы төзімділікке ие болды. Бұл нәтижелер FPMB-ның битум қоспаларының ұзақ мерзімділігіне оң әсер ететінін дәлелдейді және оларды жоғары төзімділік талап етілетін жағдайларда пайдалануға жарамды етеді.

Жұмсару температурасы (кесте 3): Тотығуға дейінгі мәні 70,6°C болған, ал тотығудан кейін 59°C дейін төмендеген. Жұмсару температурасының төмендеуі материалдың термотұрақтылығын жоғалтқанын көрсетеді, бұл жоғары температура мен тотығу процестерінің әсерінен қоспа құрылымының босаңсуына байланысты болуы мүмкін. Ал иненің ену тереңдігі тотығуға дейін мәні 81 мм болған, ал тотығудан кейін 69 мм-ге дейін азайған. Бұл көрсеткіштің төмендеуі битумның тотығудан кейін қаттылығының артқанын көрсетеді, бұл оның құрылымдық өзгерістерімен байланысты болуы мүмкін.

Кесте 3 – БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7% FPMB сынақ нәтижелері

«Сақина және шар» әдісі бойынша жұмсару температурасы, °C	
ДЕЙІН	КЕЙІН
70,6	59
25°C температурадағы иненің ену тереңдігі (0,1 мм-ден кем емес)	
81	69

Бұл кестедегі (кесте 4) деректер битумның тотығудан кейінгі сипаттамаларының өзгеруін көрсетеді. Жұмсару температурасы (БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB) бастапқы 58,9°C-тан 61,4°C-қа дейін артты, бұл термотөзімділіктің жақсарғанын және материал құрылымының нығайғанын білдіреді. Иненің ену тереңдігі 73,6 мм-ден 49,3 мм-ге дейін төмендеді, бұл битумның қаттылығы мен құрылымдық беріктігінің артқанын көрсетеді.

Кесте 4 – БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6 % FPMB сынақ нәтижелері

«Сақина және шар» әдісі бойынша жұмсару температурасы, °C	
ДЕЙІН	КЕЙІН
58,9	61,4
25°C температурадағы иненің ену тереңдігі (0,1 мм-ден кем емес)	
73,6	49,3

БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7% FPMB қоспа құрамының жұмсару температурасы төмендеді, бұл термотөзімділіктің азаюын көрсетеді. Алайда, ине ену тереңдігінің азаюы материалдың қаттылығы артқанын дәлелдейді. БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасы тотығудан кейін жоғары термотөзімділік пен қаттылық көрсетті, бұл оның эксплуатациялық қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді. БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7% FPMB қоспасы термотөзімділігі төмендесе де, жоғары қаттылық арқасында жарықтарға төзімділік танытты.

Бұл нәтижелер ПББ құрамдарының тотығу кезінде әртүрлі қасиеттер танытатынын көрсетеді, сондықтан экстремалды температуралық жағдайларда және ұзақ мерзімді пайдалану үшін материалды таңдау кезінде ескерілуі қажет.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Жүргізілген зерттеулер барысында әртүрлі концентрациядағы FPMB модификаторын қолдану арқылы полимер-битумды байланыстырушылар қоспаларының қасиеттері және олардың тотығу процестеріне төзімділігі зерттелді. Зерттеудің басты мақсаты – FPMB-ның битумды қоспалардың термотұрақтылығы мен икемділігіне тотығуға дейін және кейін әсерін бағалау, сондай-ақ жол жабынында қолдануға ең тиімді құрамдарды анықтау болды.

БНД 60/90 («Caspi Bitum» ЖШС) + 7% FPMB қоспасы тотығуға дейін жұмсару температурасы 70,6°C құрады, бірақ тотығудан кейін 59°C дейін төмендеді, бұл материалдың термотұрақтылығының нашарлағанын көрсетеді. Бұл қоспада ине ену тереңдігі 81 мм-ден 69 мм-ге дейін азайды, бұл тотығудан кейін битумның қаттылығының артқанын білдіреді. Бұл қоспа құрылымының тығыздала түскенін көрсетсе де, оның термотұрақтылығы төмендеген.

БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасы тотығуға дейін жұмсару температурасы 58,9°C болған, ал тотығудан кейін 61,4°C-қа дейін артты. Бұл материалдың жоғары температураларға төзімділігі жақсарғанын көрсетеді. Бұл қоспада ине ену тереңдігі 73,6 мм-

ден 49,3 мм-ге дейін айтарлықтай төмендеді, бұл қоспаның қаттылығының едәуір артқанын білдіреді. Бұл тотығудан кейінгі битум құрылымының нығаюымен байланысты болуы мүмкін.

FPMB концентрациясы жоғары (7%) қоспалар жұмсару температурасының айтарлықтай өзгергенін көрсетті, бұл термотұрақтылықтың жоғалу ықтималдығын білдіреді. Сонымен қатар, олардың қаттылығы артты, бұл төзімді жамылғы қажет жағдайларда пайдалы болуы мүмкін. БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасы тотығудан кейін термотұрақтылығы мен қаттылығы бойынша ең жақсы нәтижелер көрсетті. Бұл оны жоғары пайдалану талаптары бар жол жабындарында қолдануға қолайлы етеді.

Сынақ нәтижелері FPMB модификаторының оңтайлы концентрациясын дұрыс таңдаудың практикалық маңыздылығын көрсетеді. Оңтайлы қоспа термотұрақтылық пен икемділік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ете алады, бұл жол жабынының ұзақ мерзімді қызмет етуі үшін өте маңызды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер полимер қалдықтары мен резеңке үгіндісі сияқты қайта өңделген материалдарды битумды байланыстырушыларды модификациялау үшін тиімді пайдалануға болатынын растады. Екіншілік материалдарды битум құрамына қосу оның пайдалану сипаттамаларын жақсартады, соның ішінде термотұрақтылықты арттырады, тотығуға төзімділікті күшейтеді және морт сыну температурасын төмендетеді. Бұл қасиеттер модификацияланған битумдарды Қазақстан секілді елдерде экстремалды климаттық жағдайларда қолдануға перспективалы етеді.

Зерттеу барысында битумның қаттылығы мен икемділігі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін полимер қоспаларының оңтайлы концентрациялары анықталды. Жұмсару температурасы мен инертің ену тереңдігінің жабынның беріктігіне әсеріне ерекше назар аударылды. Зерттеу нәтижесінде БНД 60/90 («ПМХЗ» ЖШС) + 6% FPMB қоспасы тотығудан кейін термотұрақтылығы мен қаттылығы бойынша ең жақсы нәтижелер көрсетті. Бұл оны жоғары пайдалану талаптары бар жол жабындарында қолдануға қолайлы етеді.

Алынған мәліметтер қайта өңделген материалдарды сынау әдістемелері мен стандарттарын нақтылау үшін қосымша зерттеулер жүргізудің қажеттілігін көрсетеді. Сондай-ақ әртүрлі қалдықтардың битуммен үйлесімділігі мен олардың нақты пайдалану жағдайларындағы тұрақтылығын зерттеуді жалғастыру маңызды. Бұл зерттеулер жол құрылысына экологиялық тұрақты технологияларды жаппай енгізудің жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Әдебиеттер тізімі

1. Valerevna K.E. Involvement Of Products Of Chemical Processing Of Polymer Waste In The Composition Of Building Materials / K.E. Valerevna, Z.O. Vladimirovna, B.V. Yuryevich // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2024. – V. 33, № 3. – P. 8. <https://doi.org/10.62593/2090-2468.1039>.
2. Study of the Dispersion of Bitumens Modified with Secondary Polyethylene Terephthalate / A.R. Akhmed Adnan Khaider et al // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* – 2024. – V. 1374, № 1. – P. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1374/1/012032>.
3. Farina A. Environmental assessment of asphalt mixtures modified with polymer coated rubber from scrap tires / A. Farina, M.E. Kutai, A. Ankitil // *J Clean Prod.* – 2023. – V. 418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138090>.
4. Procedia use of recycled plastics as a second raw material in the production of road pavements: an example of circular economy evaluated with lca methodology / L. Capuano et al // *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. – 2020. – V. 7. – P. 37-43. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. <http://www.procedia-esem.eu>.
5. Mersha D.A. High-Temperature Performance Enhancement of Bitumen by Waste PET-Derived Polyurethane / D.A. Mersha, Z.B. Sendeki // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2022. – V. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9567197>.
6. Analysis of waste polyethylene (PE) and its by-products in asphalt binder / M.R. Kakar et al // *Constr Build Mater.* – 2021. – V. 280. – P. 122492. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122492>.
7. Kazemi M. State of the art in the application of functionalized waste polymers in the built environment / M. Kazemi, E.Kh. Fini // *Resour Conserv Recycl.* – 2022. – V. 177. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105967>.

8. Manufacturing and characterization of asphalt binders designed on the bases of polymer modified bitumen with cement by-pass dust and fly ash / R. Meriys-Meri et al // Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. – 2022. – V. 3. – P. 380-386. <https://doi.org/10.1201/9781003222910-39>.
9. Experimental investigation on the use of waste elastomeric polymers for bitumen modification / S. Yegane et al // Applied Sciences (Switzerland). – 2020. – V. 10, № 8. <https://doi.org/10.3390/app10082671>.
10. Mashan N. Engineering Characterisation of Wearing Course Materials Modified with Waste Plastic / N. Mashan // Recycling. – 2022. – V. 7, № 4. <https://doi.org/10.3390/recycling7040061>.
11. Emelyancheva E. The modification of road petroleum bitumen with petrochemical wastes and polymers / E. Emelyancheva, A. Abdullin // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2021. – V. 56. – P. 1249-1255.
12. Crumb Rubber as a Secondary Raw Material from Waste Rubber: A Short Review of End-Of-Life Mechanical Processing Methods / V. Lapkovskis et al // Recycling. – 2020. – V. 5, № 4. – P. 32. <https://doi.org/10.3390/recycling5040032>.
13. Agudelo G. Ground tire rubber and bitumen with wax and its application in a real highway / G. Agudelo, S. Sifuentes, Kh.A. Kolorado // J Clean Prod. – 2019. – V. 228. – P. 1048-1061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.353>.
14. Recycling waste plastics in roads: A life-cycle assessment study using primary data / Zh. Santos et al // Science of the Total Environment. – 2021. – V. 751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141842>.
15. Use of rubber crumb obtained from waste car tires for the production of road bitumen and roofing materials from residues of ukrainian oil processing / A. Nagurskiy et al // Chemistry & Chemical Technology. – 2023. – V. 17, № 3. – P. 674-680. <https://doi.org/10.23939/chcht17.03.674>.
16. Brikman K.B. Ensuring environmental safety when using polymer waste in technologies for obtaining building materials / K.B. Brikman, S. Van Velzen, M. Nikoll // J Phys Conf Ser. – 2021. – V. – 1926. – № 1. – P. 012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012048>.
17. EN 12607-1:2014. Bitumen and bituminous binders – Determination of the resistance to hardening. Accessed: Jan. 22, 2025. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5e1f0c0a-99bc-4c99-a191-cf07c1482527/en-12607-1-2014>
18. ASTM D5-06. Test Method for Penetration of Bituminous Materials. 2006. <https://doi.org/10.1520/D0005-06E01>
19. ASTM D36-06. Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). 2006. <https://doi.org/10.1520/D0036-06>

Қаржыландыру

Бұл зерттеу BR21882278 «Создание строительно-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительного, дорожно-строительного сектора Республики Казахстан» жобасы аясында қаржыландырылды.

А.Г. Сыздык^{1*}, Е.А. Жакманова¹, Г.Ж. Сейтенова¹, Р.М. Дюсова²

¹Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева 2

²Университет имени Торайгыров,
014000, Қазақстан Республикасы, г. Павлодар, ул. Ломов 64

*e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com

ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МОДИФИКАЦИИ БИТУМА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

В данной статье рассматриваются возможности использования переработанных материалов для модификации битумных вяжущих в рамках концепции циркулярной экономики. Для модификации битума использованы полимерные отходы и резиновая крошка. Проведенные исследования показали, что данные добавки улучшают термостойкость, эластичность и устойчивость битума к окислению. Кроме того, установлено, что эксплуатационные характеристики модифицированного битума значительно улучшаются: снижается температура хрупкости и повышается температура размягчения. Оптимальные концентрации модификаторов были определены, а их влияние на структуру битума изучено. В результате исследования смесь

БНД 60/90 («ПМХЗ» ТОО) + 6% FPMB показала наилучшие результаты по термостойкости и твердости после окисления, что делает ее пригодной для использования в дорожных покрытиях с высокими эксплуатационными требованиями. Полученные результаты подтверждают эффективность внедрения переработанных материалов в дорожное строительство, демонстрируя их экологические и экономические преимущества. В соответствии с принципами циркулярной экономики использование переработанных полимеров способствует рациональному потреблению природных ресурсов, сокращению отходов и обеспечению экологической устойчивости. Инновационные подходы в дорожном строительстве позволяют создавать прочные и долговечные покрытия. Кроме того, данное исследование предлагает инновационные методы модификации битума, что способствует улучшению качества строительных материалов и увеличению их долговечности. Таким образом, использование переработанных материалов позволяет повысить прочность дорожных покрытий, снизить негативное воздействие на окружающую среду и достичь целей устойчивого развития.

Ключевые слова: дорожные покрытия, устойчивость, строительные материалы, полимер-модифицированный битум, асфальтобетон.

A.G. Syzdyk¹, E.A. Zhakmanova¹, G.Zh. Seitenova¹, R.M. Dyussova²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana, 2 Satpaev Street

²Toraighyrov University,

140000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, 64 Lomov Street

*e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com

SECONDARY MATERIALS IN BITUMEN MODIFICATION AND IMPLEMENTATION OF CIRCULAR ECONOMY

This article explores the potential of using recycled materials for modifying bituminous binders within the framework of the circular economy concept. Polymer waste and crumb rubber were used for bitumen modification. The conducted research demonstrated that these additives enhance the thermal stability, flexibility, and oxidation resistance of bitumen. Furthermore, it was found that the performance characteristics of modified bitumen significantly improve: the brittle fracture temperature decreases, while the softening temperature increases. The optimal concentrations of modifiers were determined, and their effect on the bitumen structure was studied. As a result of the study, the BND 60/90 («ПОСР» LLP) + 6% FPMB mixture showed the best results in terms of thermal stability and hardness after oxidation, making it suitable for use in high-performance road pavements. The obtained results confirm the effectiveness of integrating recycled materials into road construction, highlighting their environmental and economic benefits. In line with the principles of the circular economy, the use of recycled polymers promotes the rational consumption of natural resources, waste reduction, and environmental sustainability. Such innovative approaches in road construction enable the creation of durable and long-lasting pavements. Moreover, this study proposes innovative methods for bitumen modification, contributing to the improvement of construction material quality and durability. Thus, the use of recycled materials helps enhance the strength of road pavements, minimize environmental impact, and achieve sustainable development goals.

Key words: road pavements, sustainability, construction materials, polymer-modified bitumen, asphalt.

Авторлар туралы мәліметтер

Аяжан Ғалымқызы Сыздық* – 2 курс магистратура студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті; Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Химия кафедрасы; Астана, Қазақстан; e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com. ORSID: <https://orcid.org/0009-0007-4435-0976>.

Екатерина Александровна Жакманова – PhD студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті; Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Химия кафедрасы; Астана, Қазақстан; e-mail: Ekaterina.zakmanova1998@gmail.com. ORSID: <https://orcid.org/0000-0003-0545-5912>.

Гайни Жумағалиевна Сейтенова – химия ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры; Астана, Қазақстан; e-mail: gainiseitenova@gmail.com. ORSID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>.

Ризагуль Муслимовна Дюсова – техника ғылымдарының кандидаты, КЕАҚ «Торайғыров университеті» постдокторанты; Павлодар, Қазақстан; e-mail: riza92@bk.ru. ORSID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>.

Сведения об авторах

Аяжан Галымқызы Сыздық* – магистрант 2 курса, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева; Факультет естественных наук, кафедра химии; Астана, Казахстан; e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4435-0976>.

Екатерина Александровна Жакманова – PhD студент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева; Факультет естественных наук, кафедра химии; Астана, Казахстан; e-mail: Ekaterina.zakmanova1998@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0545-5912>.

Гайни Жумагалиевна Сейтенова – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева; Астана, Казахстан; e-mail: gainiseitenova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>.

Ризагуль Муслимовна Дюсова – кандидат технических наук, постдокторант, Университет Торайгырова; Павлодар, Казахстан; e-mail: riza92@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>.

Information about the authors

Ayazhan Galymkyzy Syzdyk * – 2nd-year master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University; Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry; Astana, Kazakhstan; e-mail: ayazhanka.syzdyk@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4435-0976>.

Ekaterina Alexandrovna Zhakmanova – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University; Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry; Astana, Kazakhstan; e-mail: Ekaterina.zakmanova1998@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0545-5912>.

Gaini Zhumagalievna Seitenova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at L.N. Gumilyov Eurasian National University; Astana, Kazakhstan; e-mail: gainiseitenova@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>.

Rizagul Muslimovna Dyussova – Candidate of Technical Sciences, Postdoctoral Researcher at Toraighyrov University; Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: riza92@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>.

Редакцияға енуі 14.02.2025

Өңдеуден кейін түсуі 02.04.2025

Жариялауға қабылданды 02.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-55](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-55)

MPHTI: 61.13.21



А.Ж. Жасұлан^{1*}, З.А. Сатбаева^{1,2}, К.Д. Орманбеков¹, А.Б. Шынарбек¹, Р.К. Кусаинов¹

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²ТОО «MetPro»,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4 А

*e-mail: a.zhassulan@shakarim.kz

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Аннотация: Проведено исследование цитотоксичности нанокompозитных покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования с добавлением наночастиц. Для оценки токсичности покрытий использовали метод МТТ-теста *in vitro* с клеточной линией HOS. Исследованы два типа покрытий, различающихся концентрацией наночастиц в составе: 0,5% и 1%. Анализ показал, что покрытие с более низкой концентрацией наночастиц соответствовало международным стандартам биосовместимости, в то время как увеличение содержания наночастиц до 1% приводило к значительному повышению цитотоксичности. Экспериментально установлено, что при высокой концентрации наночастиц в покрытиях наблюдаются изменения окраски среды и образование осадка, что указывает на возможные локальные изменения кислотности (pH) и химическую нестабильность покрытия в физиологических условиях. Выявлены статистически значимые различия между исследуемыми группами по уровню цитотоксичности, что подтверждает необходимость оптимизации состава покрытий для медицинских имплантатов. Результаты исследования подтверждают, что нанокompозитные покрытия с оптимизированным содержанием наночастиц могут быть перспективными для применения в медицинских устройствах, однако требуют дальнейшей валидации *in vivo*. Установлена корреляция между концентрацией наночастиц и изменением морфологии поверхности, что может оказывать влияние на адгезию клеток. Полученные данные подчеркивают важность разработки безопасных покрытий для биомедицинских применений.