



**Модификацияланған битумның жасанды қартайғаннан кейінгі пенетрациясын
бағалау**

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915> **А. Д. Серик** ^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584> **А. М. Қожахмет** ¹,
<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258> **Ұ. А. Шангерей** ¹

¹«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: almiraserik03@mail.ru

Аннотация. Мақалада модификацияланған битумдардың консистенциясының RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) әдісімен жасанды қартаюдан кейінгі өзгерістері зерттеледі. Зерттеудің мақсаты – битум пенетрациясын қартаюға дейінгі және кейінгі жағдайларда бағалау, сондай-ақ алынған көрсеткіштердің жоғары маркалы битумдарға сәйкестігін анықтау. Жұмыста 50/70 маркалы битумдардың термиялық тұрақсыздығы және оны модификаторлар енгізу арқылы жақсарту мәселесі қарастырылады. Зертханалық сынақтар СТ РК 1226-2003 стандартына сәйкес, 0 °C және 25 °C температурада орындалды. Зерттеу нәтижелері бойынша қартаюдан кейінгі модификацияланған битум үлгілері жоғары қалдық пенетрация мәндерін ($51,20 \times 0,1$ мм) көрсетті, бұл олардың 70/100 маркалы битумдармен салыстыруға келетінін дәлелдейді. Сонымен қатар, өлшемдердің тұрақтылығы мен қайталанғыштығы да расталды. Алынған нәтижелер Қазақстанның күрт континенттік климат жағдайында сапалы жол жамылғыларын қамтамасыз етуге және отандық битум ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: битум пенетрациясы, RTFOT қартаюы, модификацияланған битум, температуралық тұрақтылық, 50/70, 70/100, жол жамылғысы.

Кіріспе

Қазақстандағы автомобиль жолдарын пайдаланудың қазіргі жағдайлары жол құрылысына қолданылатын материалдардың сапасы мен ұзақ мерзімділігіне жоғары талаптар қояды. Асфальтобетон жабындарының негізгі құрамдас бөліктерінің бірі — мұнай жол битумы; оның қасиеттеріне жабынның суға төзімділігі, пластикалығы, деформацияға және қартаюға тұрақтылығы тікелей байланысты.

Алайда, ұзақ мерзімді пайдалану барысында жоғары температура, оттегі, ультракүлгін сәуле және механикалық кернеу әсерінен битум физико-химиялық өзгерістерге ұшырап, оның реологиялық және пайдалану қасиеттері нашарлайды. Мұндай өзгерістердің негізгі көрсеткіші — пенетрация, яғни стандартты жағдайларда (25 °C температура, 100 г салмақ, 5 секунд уақыт) ине битумға қаншалықты терең енетінін өлшейтін шамасы. Бұл битумның консистенциясын және пластикалығын көрсетеді. Қартаю үдерісінде пенетрация төмендеген сайын битум сынғыш болып, жарықтар түзіледі және жабын ерте бұзылады.

Қазіргі тәжірибе көрсеткендей, әсіресе отандық өндірістегі төмен тұтқырлықтағы битумдар тез қартаюға бейім, сондықтан оның серпімділігін сақтау және қажетті сипаттамаларын қамтамасыз ету үшін қосымша модификациялаушы қоспалар қолдануды талап етеді.

Әлемдік және отандық ғылыми әдебиеттерде битумның қартаю мәселелері кеңінен талданады. Әсіресе, американдық және еуропалық зерттеушілердің еңбектерінде битумның

тотығуға төзімділігін арттыру жолдары — полимерлерді, резеңке үгіндісін, беттік-белсенді заттарды және термостабилдеуші қоспаларды пайдалану арқылы — белсенді қарастырылады. Дегенмен, өндірушілер мен партиялар бойынша битум қасиеттерінің тұрақсыздығы, зертханалық қартаюдан кейінгі пенетрация мәндерінің қатты шашыраңқылығы, халықаралық техникалық талаптарға сәйкес келмеуі сияқты мәселелер ерекше атап өтіледі.

Осындай кең көлемдегі зерттеулерге қарамастан, модификацияланған битумның пенетрация мәнінің жоғары маркалы стандарттарға сәйкестігі мен тұрақтылығын, сондай-ақ модификацияланған төмен тұтқырлықтағы битумдардың қалдықтық пенетрациясының 70/100 маркалы битум параметрлеріне қаншалықты жақындайтынын толық және нақты анықтау мәселелері өз шешімін таппай келеді.

Битумды модификациялау саласында жинақталған ғылыми және қолданбалы әлеуетке қарамастан, қартаю факторларының әсерінен кейін пенетрация көрсеткіштерінің тұрақтылығын жүйелі түрде бағалау қажеттілігімен байланысты ғылыми олқылықтар әлі де бар. Бұл, әсіресе, пенетрацияның жақсаруының дәлдігін растауға мүмкіндік беретін вариация коэффициенттерін талдаумен үйлескенде, RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) әдісі бойынша жасанды қартаюдан соң өзекті. Аталған зерттеу, әсіресе, Қазақстан Республикасының жол құрылысында экологиялық және тозуға төзімді материалдарға көшу аясында ерекше маңызды деп есептеледі, өйткені экстремалды климаттық жағдайда битум сапасы жабынның пайдалану ұзақтығын айқындайтын негізгі фактор болып табылады.

Сондықтан битумды жасанды қартаюға дейін және кейін пенетрациясын бағалау, сондай-ақ оның модификациялану деңгейін, эластикалығы мен консистенциясының жоғалуын болдырмау мақсатында анықтау – ғылыми ізденістің қисынды әрі өзекті бағытын құрайды.

Осы зерттеудің мақсаты – битумның түріне және модификациялаушы қоспалардың болуына байланысты RTFOT камерасында қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрациясының өзгерісін сандық тұрғыда бағалау. Ерекше назар битумның қалдықтық пенетрациясын жоғары маркалы битумдар нормативтерімен салыстыруға, оның мақсатты мәндерге қаншалықты жақындайтынын анықтауға, сондай-ақ эксперименттік нәтижелердің тұрақтылығын статистикалық талдауға (вариация коэффициенті, ауытқу ауқымы) аударылады. Бұл төмен тұтқырлықтағы битумдарды модификациялаудың тиімділігі туралы негізделген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Әдістеме

Зерттеудің мақсаты – битумның консистенциясының жасанды қартаюға дейін және кейін 0 °C және 25 °C температурада қалай өзгертінін сандық тұрғыда бағалау болды. Бұл бағалау битумның физика-механикалық қасиеттерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштердің бірі — пенетрацияны талдау негізінде жүргізілді. Зерттеу барысында төмен маркалы битумдар (50/70), қосымша модификациялаушы қоспалармен өңделген битумдар және әртүрлі өндірушілердің жоғары маркалы битумдары (70/100) қарастырылды.

Сынақтар қолданыстағы ұлттық стандарттарға сәйкес жүргізілді:

- СТ РК 1218-2024 «Жол және аэродром құрылысына арналған органикалық байланыстырушы негізіндегі материалдар»[2];

- СТ РК 1226-2003 «Битумдар және битумды байланыстырушылар. Қыздыру және ауа әсеріне тұрақтылығын анықтау әдістері»[3] – пенетрация өлшеу әдістемесін реттейтін негізгі стандарт болып табылады.

Эксперимент жүргізу процедурасы

А) Қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрацияны анықтау
Пенетрация — стандартты иненің битумға 100 г жүктемемен, 0 °C және 25 °C температурада 5 секунд ішінде ену тереңдігі. Бұл көрсеткіш сынақтан өткізілетін битумның

тұтқыр-пластикалық қасиеттерінің қалдықты өзгерісін бағалау мақсатында RTFOT кондырғысында қартаюға дейін де, кейін де анықталды.

Сынақтар келесі алгоритм бойынша жүргізілді:

1. Битум үлгілері 105 ± 5 °C температураға дейін термостатты ваннада қыздырылып, стандартты пенетрациялық қалыптарға құйылды.

2. Сынақтар 0 °C және 25 °C температурада жүргізілді. Температуралық режимдер термокамера арқылы $\pm 0,5$ °C-тан аспайтын ауытқумен қамтамасыз етілді.

3. Өлшеулер тік бағытта жұмыс істейтін, цифрлық индикаторы бар пенетрациялық машинада жүргізілді. Әр температуралық топта әр үлгіге 3 рет өлшеу жасалды.

4. Әр өлшеу жиынтығы нәтижесінде есептелді:

- пенетрацияның орташа арифметикалық мәні (дәлдігі 0,1 мм-ге дейін),
- вариация коэффициенті,
- жеке мәндердің ауытқу ауқымы.

Рұқсат етілген айырмашылықтар [СТ РК 1226-2003] стандартына сәйкес орнатылған:

- бір үлгінің шегінде жеке мәндердің сәйкес келу айырмасы $2 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәnniң 4%-ынан аспауы керек;
- әр түрдің 5 үлгісінен тұратын серия үшін рұқсат етілген қайталанғыштық — $7 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәnniң 20%-ынан аспауы керек.

Б) Битумды жасанды қартаю

Битумды қартаюын имитациялау Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) әдісі бойынша СТ РК 1224-2003 стандартына сәйкес жүргізілді:

Әр сынақ сериясына массасы 35–50 г болатын 5 үлгі дайындалып, олар айналмалы колбаның (RTFOT-барабан) ішкі қабырғаларына жұқа қабатпен (≤ 1 мм) жағылды.

Қартаю камерасы 163 ± 1 °C температураға дейін қыздырылды. Жылу әсерінің ұзақтығы — 75 ± 1 минут.

Барабан тұрақты $0,25 \pm 0,003$ айн./сек ($15,0 \pm 0,2$ айн./мин) жылдамдықпен айналып тұрды, ал ауа ағымы тұрақты 4000 ± 200 мл/мин берілді. Мұндай параметрлер битум қабатының қозғалғыштығы мен бетін біркелкі тотығуын қамтамасыз етеді.

Қартаю аяқталғаннан кейін үлгілер салқындатылып, қартаюға дейінгі сынақтармен бірдей жағдайларда қайта өлшенді.

Деректерді сандық талдау

Әр үлгіге келесі көрсеткіштер есептелді:

- орташа пенетрация мәні (P_0 — қартаюға дейін, P_{25} — қартаюдан кейін),
- әр үлгінің шегіндегі вариация коэффициенті (3 өлшем бойынша),
- бір типті битумның 5 үлгісі арасындағы қайталанғыштық.

Сондай-ақ статистикалық талдау жүргізілді:

- пенетрацияның пайыздық жоғалуы келесі формула бойынша есептелді:

$$\Delta P = ((P_0 - P_{25}) / P_0) \times 100\%$$

- таңдамадағы орташа мәндердің ауытқуы;

- вариация коэффициенті 12% - ға дейін болған жағдайда, сенімділік аралығы анықталды.

Нәтижелер және талқылау

Модификацияланған және модификацияланбаған битумдардың пенетрациясын бағалау зертханалық қартаюға дейін және кейін 0 °C және 25 °C температуралық режимдерде жүргізілді. Әр үлгі бір серия ішінде үш рет ($n=3$) сыналды, бұл бір таңдама ішіндегі өлшеу дәлдігін, сондай-ақ бір типті бес үлгі ($n=5$) арасында қайталанғыштықты бағалауға мүмкіндік берді.

1- кестеде көрсетілгендей, қартаюдан кейін 25 °C температурадағы барлық жеке пенетрация мәндері ($P_{(25)}$) СТ РК 1226-2003 стандартымен белгіленген рұқсат етілген

шектерде — орташа мәннен ± 4 % немесе $2 \times 0,1$ мм-ден аспады. Бір топтағы вариация коэффициенттері (үш өлшем бойынша) 1,72-ден 2,82 %-ға дейінгі диапазонда болды.

1 кесте – Қартаюдан кейінгі пенетрацияны анықтау нәтижелері және статистикалық параметрлер

Битум түрі	Ауқымы P_{25} , $\times 0.1$ мм	Орташа мәні P_{25}	Вариация коэффициенті (%)	Жаңғыртылуы (%)
1 тип (50/70 маркасы)	37.00 – 39.00	38.00	2.71	4.84
2 тип (70/100 маркасы)	54.00 – 56.00	55.00	2.09	2.81
3 тип (70/100 маркасы)	63.67 – 66.00	64.70	1.82	1.72
4 тип (70/100 маркасы)	64.00 – 66.00	65.00	2.01	1.86
5 тип (70/100 маркасы)	64.33 – 67.00	65.33	1.76	2.10
6 тип (70/100 маркасы)	53.33 – 57.33	55.80	2.09	3.41
7 тип (70/100 маркасы)	54.67 – 58.00	56.33	2.12	2.44
8 тип (70/100 маркасы)	45.00 – 48.33	46.90	2.39	3.02
9 тип (модиф. 50/70 маркасы)	50.33 – 52.00	51.20	2.28	3.01

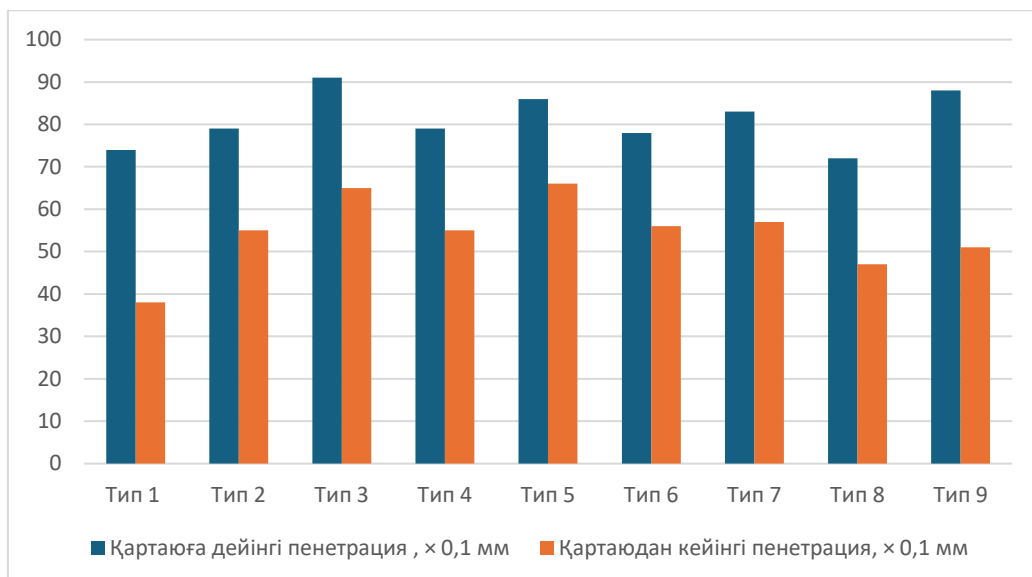
Деректер әр үлгінің шегінде жеке өлшеулердің жоғары сәйкестігін, сондай-ақ бір типті үлгілер арасындағы қолайлы қайталанғыштықты көрсетеді және бұл көрсеткіштер нормативтерге ($7 \times 0,1$ мм-ден немесе орташа мәннің 20 %-нан аспауы тиіс) сәйкес келеді.

Қалдықтық пенетрацияны жоғары маркалы битумдар нормативтерімен салыстыру

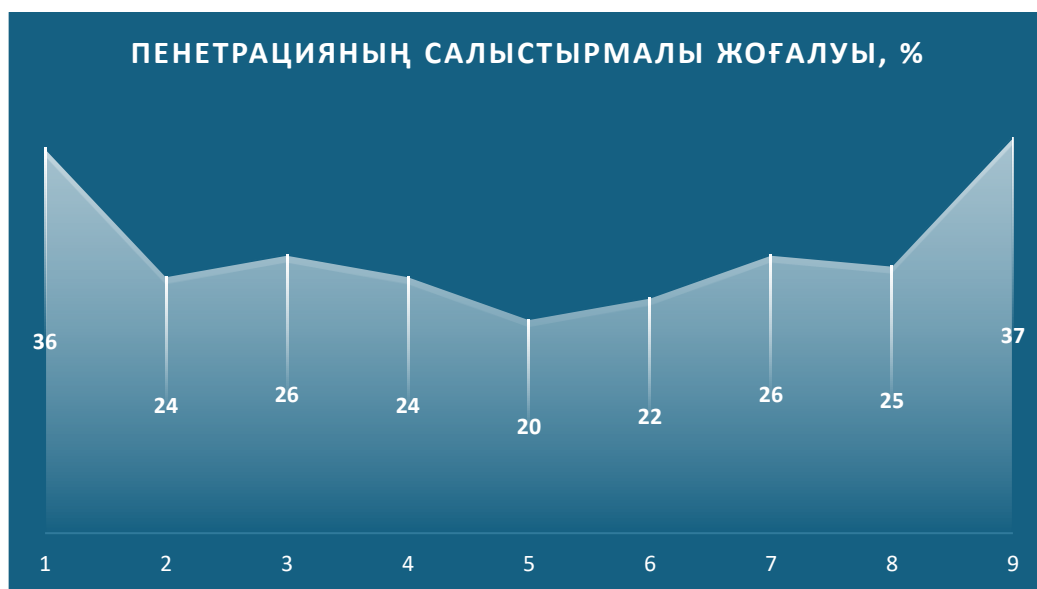
Бақылау тобы ретінде әртүрлі өндірушілердің 70/100 маркалы битумдары пайдаланылды. Осы топ бойынша қалдықтық пенетрацияның (P_{25}) орташа мәні $57,13 \pm 6,5 \times 0,1$ мм болды, ал вариация коэффициенті — 12 %. Бұл мән нормативтік аралық ретінде қабылданды.

Модификацияланған 50/70 маркалы битум үлгілері термиялық-тотығу қартаюынан кейін $51,20 \times 0,1$ мм қалдықтық пенетрация көрсетті. Нәтижелердің вариациясы 2,28% шегінде болғандықтан, бұл үлгілерді жоғары маркалы битумдар класына жатқызуға болады.

1-суретте битумдардың 1–9 типтері бойынша қартаюға дейінгі және кейінгі орташа пенетрация мәндері көрсетілген.



Сурет 1 – Пенетрацияның қартаюға дейінгі және кейінгі өзгеру динамикасы



Сурет 2 – Пенетрацияның салыстырмалы жоғалуы, %

Талдау нәтижесінде мынадай қорытындылар жасалды:

- Пенетрацияның ең жоғары жоғалуы — 36 – 37 % — төмен маркалы битумдарда (1 тип), сондай-ақ олардың модификацияланған нұсқасында (9-тип) ішінара байқалды.
- Ең төменгі жоғалту — 20 % — жоғары маркалы битумдарда (5-тип) тіркелген.
- Басқа типтер бойынша жоғалту 22% - дан 26 % - ға дейін болды.

Пенетрациялық сынақтар 50/70 битумын модификациялау қартаюдан кейін оның қалдық консистенциясын жоғары маркалы 70/100 битум деңгейіне жақындатуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Барлық үлгілер бойынша вариация коэффициенттері нормативтік мәндерден аспады. Қартаюдан кейінгі пенетрациядағы жоғалтулардың мәні рұқсат етілген шектерде, бұл модификацияланған битумның термиялық тұрақтылығы мен жұмысқа жарамдылығының артқанын дәлелдейді.

Қорытынды

RTFOT камерасында қартаюдан кейін модификацияланған битумның пенетрациясын бағалау бойынша жүргізілген зерттеулер битумды байланыстырғыштардың физика-механикалық қасиеттерінің тұрақтылығын арттыру үшін модификациялаушы қоспаларды қолданудың тиімділігін дәлелдейтін маңызды ғылыми нәтижелер алуға мүмкіндік берді.

Алынған тәжірибелік деректерді талдау көрсеткендей, термиялық-оксидтік қартаюдан кейінгі 50/70 маркалы модификацияланған битум үлгілері $51,20 \times 0,1$ мм деңгейінде қалдық пенетрация көрсетті, бұл 2,28 % вариация коэффициенті кезінде оларды 70/100 жоғары маркалы битумдар қатарына жатқызуға мүмкіндік береді. Статистикалық талдау нәтижелердің қайталанғыштығының жоғары екенін растады: барлық жеке пенетрация мәндері СТ РК 1226-2003 бойынша (± 4 % немесе $2 \times 0,1$ мм) нормативтік ауытқу аясында болды, ал вариация коэффициенттері 2,82 %-дан аспады.

Зерттеу нәтижелерінің Қазақстанның жол-құрылыс саласы үшін маңызды практикалық мәні бар. Төмен маркалы 50/70 битумын модификациялау арқылы оның қасиеттерін жоғары марка 70/100 битум көрсеткіштеріне жақындату мүмкіндігі төмендегідей перспективаларға жол ашады:

- Жол құрылысына арналған шикізат базасын кеңейту, яғни модификациялаудан кейінгі жақсартылған сипаттамалары бар қолжетімді битумдарды пайдалану;
 - Қазақстанның күрделі климаттық жағдайларында жол жабындарының ұзақ мерзімділігін арттыру, мұнда битум сапасы пайдалану сенімділігінің шешуші факторы болып табылады;
 - Қартаюға дейінгі және кейінгі пенетрацияны анықтаудың сынақтан өткен әдістемелері негізінде модификацияланған битумдардың сапасын бақылау әдістерін стандарттау;
 - Импорттық, тапшы байланыстырғыш материалдарды қолдану шығындарын азайту, яғни битумды төсеу орнында жергілікті модификациялау арқылы шығындарды қысқарту.
- Осылайша, қартаюдан кейінгі модификацияланған битумның пенетрациясын бағалау бұл технологияның жол құрылысына тиімділігін анықтауға мүмкіндік берді және модификатор түрінің байланыстырғыштың ұзақмерзімділігі мен мақсатты класына әсерін терең зерттеуге негіз қалады.

Әдебиеттер тізімі

1. Xiao, F., Amirkhanian, S., & Shen, J. (2015). Effects of long-term aging on rheological properties of rubberized asphalt binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
2. European Asphalt Pavement Association (EAPA). Best practices in bitumen modification, 2020.
3. ҚР СТ 1218-2024 «Жол және аэроалаң құрылыстарына арналған органикалық тұтқырғыштар негізіндегі материалдар. Сынау әдістері».
4. ҚР СТ 1226-2003 «Битумдар және битум тұтқырғыштар. Иненің өту тереңдігін анықтау әдісі».
5. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК. Отчеты по производству и применению битумов, 2024.
6. ҚР СТ 1373-2013 «Битум және тұтқыр. Битумдар жолға арналған түрлендірілген мұнай битумдары. Техникалық шарттар».
7. ҚР СТ 1225-2019 «Асфальт-бетон жол, әуежай және асфальт-бетон қоспалары. Техникалық шарттар».
8. ҚР СТ 2028-2010 «Жол жабындарына арналған түрі өзгертілген резеңке үгіндісі бар асфальтобетон. Техникалық талаптар».

Авторлар туралы мәліметтер (үш тілде):

Серик Альмира Дауренқызы – магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, almiraserik03@mail.ru

Серик Альмира Дауренқызы – магистрант, Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, almiraserik03@mail.ru

Serik Almira Daurenkyzy - master's student, Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, almiraserik03@mail.ru

Қожахмет Ару Мейрамқызы – магистр, ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Қазақстан, arukozhahmet@mail.ru

Қожахмет Ару Мейрамқызы – магистр, ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Казахстан, arukozhahmet@mail.ru

Kozhakhmet Aru Meiramlyzy – master, LLP «NTS-Kazakhstan», Astana, Kazakhstan, arukozhahmet@mail.ru

Шангерей Уран Арысулы – магистрант, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, shangereyu@bk.ru

Шангерей Ұран Арысулы – магистрант, Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан, shangereyu@bk.ru

Shangerey Uran Arysuly - master's student, Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, shangereyu@bk.ru

Авторлардың үлесі:

Серик А.Д. – ғылыми тұжырымдаманы әзірлеу, зерттеу нәтижелерін талдау және мақала мәтінін дайындау.

Қожахмет А.М. – эксперименттерді жүргізу, мәліметтерді жинау және талдау, кестелер мен графиктерді рәсімдеу.

Шангерей Ұ.А. – зерттеулерді практикалық іске асыру, деректерді статистикалық өңдеу, нәтижелерді келісу және мақаланы рецензиялау

Оценка пенетрации модифицированного битума после состаривания

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915>  **А.Д. Серик** ^{1,*}, <https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>  **А.М. Қожахмет** ²,
<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258>  **Ұ.А. Шангерей** ¹

¹ Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

² ТОО «НТС-Казакстан», Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: almiraserik03@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию изменения консистенции битумных вяжущих после искусственного старения с использованием метода Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Целью исследования является оценка пенетрации модифицированных битумов до и после состаривания, а также установление соответствия показателей требованиям, предъявляемым к битумам высоких марок. В работе рассматривается проблема термической нестабильности традиционных битумов марки 50/70 и возможности её компенсации путём ввода модифицирующих добавок. Исследования выполнены с применением стандартов СТ РК 1226-2003, в температурных диапазонах 0 °С и 25 °С. Установлено, что модифицированные образцы после состаривания демонстрируют высокий уровень остаточной пенетрации (51,20 × 0,1 мм), что приближает их к

характеристикам битумов марки 70/100. Также подтверждена стабильность и воспроизводимость измерений. Полученные данные обладают высокой практической значимостью для дорожно-строительной отрасли, так как позволяют расширить сырьевую базу и повысить надёжность асфальтобетонных покрытий в условиях резко континентального климата Казахстана.

Ключевые слова: пенетрация битума, старение RTFOT, модифицированный битум, температурная стабильность, 50/70, 70/100, дорожные покрытия.

Assessment of Penetration of Modified Bitumen after Aging

<https://orcid.org/0009-0007-3988-8915>



A.D Serik^{1,*}



<https://orcid.org/0000-0002-0845-2584>



A.M. Kozhakhmet²

<https://orcid.org/0009-0008-7498-1258>



U.A. Shangerey¹

¹ Department of Industrial and Civil Engineering Technology, NJSC «L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan»

² LLP «NTS-Kazakhstan», Astana, Kazakhstan

* Corresponding author: almiraserik03@mail.ru

Abstract. The article explores changes in the consistency of modified bituminous binders after artificial aging using the Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) method. The aim of the study is to assess the penetration values of modified bitumen before and after aging, as well as to determine their compliance with the requirements of high-grade binders. The research addresses the issue of thermal instability inherent in traditional 50/70 bitumen and examines the potential for improving performance through the use of modifying additives. Laboratory tests were conducted in accordance with ST RK 1226-2003 at two temperatures: 0 °C and 25 °C. The results demonstrated that the modified samples retained a high level of residual penetration (51.20×0.1 mm) after aging, bringing them close in characteristics to 70/100 grade bitumen. Stability and reproducibility of the measurements were also confirmed. The study findings are of high practical relevance for the road construction sector in Kazakhstan, offering opportunities to expand the raw material base and improve the durability of asphalt pavements under the sharply continental climate.

Keywords: bitumen penetration, RTFOT aging, modified bitumen, thermal stability, 50/70, 70/100, road pavement.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).