



ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЗКОЙ МАРКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА В СРАВНЕНИИ С БИТУМАМИ ВЫСОКОЙ МАРКИ

Е.Д. Амирбаев¹, Д.А.Алижанов¹, А.А. Жумагулова^{1,2*}, Р.Е.Лукпанов², Д.С.
Дуйсембинов²

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

²НАО «Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева»

*Корреспондент автор: adiya_kokbe@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения долговечности асфальтобетонных покрытий в зависимости от климатической зоны используются различные марки битума: для более жарких южных регионов применяются битумы марок 70/100 и ниже, а для более холодных северных - 100/130 [1]. Однако битум, вследствие воздействия температур и солнечной радиации, подвержен старению, что снижает его эластичность, адгезию и устойчивость к деформациям [2]. Целью исследования является анализ влияния модифицирующей добавки на свойства битума низкой марки и сопоставлении полученных результатов с характеристиками битума более высокой марки. Испытания проведены на образцах битума марок М 50/70 и М 70/100 различных производителей. Было проведено ускоренное старение образцов битума в камере RTFOT, имитируя условия естественного старения. После состаривания битума были определены такие показатели, как температура размягчения, динамическая вязкость, температура вспышки и хрупкость. Согласно результатам измерений температуры размягчения, образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации показали устойчивые значения, составили 51.2 °С, а после модификации 68.6 °С. Показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Измерение значений температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Температура хрупкости после модификации, также не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок [3]. Таким образом, включение в состав битума низкой марки модификатора не оказывает негативного влияния на ухудшение его температурных показателей, более того, в частных случаях показывает результат выше, чем у битума более высокой марки.

Ключевые слова: битум, температура размягчения битума, пластичность, температура вспышки битума.

Введение

Климат Казахстана отличается суровыми условиями, которые существенно воздействуют на состояние асфальтобетонных дорог [4]. Страна сталкивается с резкими температурными колебаниями, включая сезонное замерзание и оттаивание, высокие летние температуры, а также значительными ветровыми и осадочными нагрузками. Эти факторы ускоряют процессы разрушения дорожных покрытий, способствуют образованию трещин, выбоин, а также колееобразованию, что снижает комфорт и безопасность дорожного движения [5].

Асфальтобетонные покрытия должны выдерживать интенсивные температурные перепады, сохраняя свои эксплуатационные характеристики в условиях как высоких летних температур, так и суровых зимних морозов [6]. Особенно остро эта проблема стоит в северных регионах Казахстана, где низкие температуры и продолжительные морозы повышают риск образования трещин на поверхности дорог, что ускоряет износ и сокращает срок службы покрытия [7]. В то же время в южных регионах страны, где летом температура может достигать 50 °С, происходит значительный нагрев дорожного полотна, что может приводить к размягчению битума и деформации асфальта. Таким образом, для обеспечения долговечности дорожного покрытия необходимо использовать различные марки битума в зависимости от климатических условий региона: например, марка 70/100 применяется для южных областей, а 100/130 - для северных, что помогает продлить срок службы дорог [8].

Битумное вяжущее вещество играет важнейшую роль в качестве и долговечности асфальтобетонных покрытий, однако его физико-механические свойства подвержены значительным изменениям под воздействием температурных нагрузок, ультрафиолетового излучения и механических воздействий. Одной из основных проблем, возникающих при эксплуатации автомобильных дорог, является старение битума, которое со временем ухудшает его эластичность, адгезионные свойства и устойчивость к деформациям, что негативно сказывается на долговечности покрытия [9]. Это особенно актуально в условиях экстремального климата Казахстана, где воздействия агрессивных природных факторов значительно ускоряют процесс старения битумного связующего [10].

В связи с этим в последние годы внимание исследователей и производителей дорожных материалов сосредоточено на разработке и использовании модифицирующих добавок, которые способны улучшить свойства битума и повысить его устойчивость к старению. Применение таких добавок позволяет сохранить пластичность и прочность битума, повысить его устойчивость к низким и высоким температурам, а также к воздействию ультрафиолета [11]. Для оценки влияния модификаторов на битум используются различные методы испытаний, такие как определение температуры размягчения, динамической вязкости, температуры вспышки и хрупкости. Эти испытания позволяют более точно прогнозировать долговечность дорожных покрытий и качество применяемых материалов [12]. Таким образом, улучшение свойств битума за счёт модификации становится важной задачей для повышения качества и срока службы асфальтобетонных дорог в условиях сложного климата Казахстана.

Цель данного исследования заключается в анализе влияния модифицирующей добавки на свойства битума низкой марки и сопоставлении полученных результатов с характеристиками битума более высокой марки. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести ускоренное старение образцов битума в камере RTFOT, имитируя условия естественного старения.
2. Оценить изменения температуры размягчения, динамической вязкости, температуры вспышки и хрупкости битума до и после старения с добавлением модификатора.
3. Сравнить результаты испытаний модифицированного и немодифицированного битума.
4. Определить эффективность добавки в повышении стойкости битума к старению.
5. Сделать выводы о применимости модифицирующих добавок для увеличения долговечности битумных материалов в дорожном строительстве.

Методология

Исследования по подбору состава модифицированного битума проводились в следующем порядке:

- Изучение физико-механических свойств битума марки 50/70.

- Изучение физико-механических свойств битума марки 70/100.
- Определение оптимального состава модифицирующей добавки.

Испытания проведены на образцах битума марок М 50/70 и М 70/100 различных производителей. Поскольку целью исследования являлась модификация битума марки М 50/70 для достижения характеристик, схожих с показателями битума марки М 70/100, все анализы проводились в сравнении свойств битумов марки М 50/70 и М 70/100 как до, так и после модификации. В таблице 1 представлены данные о типах сравниваемых образцов и их производителях. В целях сохранения конфиденциальности информации о производителях, их названия были условно обозначены буквами. Для каждого типа битума по каждому показателю было выполнено не менее пяти измерений, что обеспечивает относительную точность результатов с учетом возможных статистических отклонений [13].

Таблица 1 - Типы сравниваемых образцов битумного вяжущего

Тип образца	Марка битума	Производитель
Тип 1	БНД 50/70	ТОО «А»
Тип 2	БНД 70/100	ТОО «А»
Тип 3	БНД 70/100	ТОО «В»
Тип 4	БНД 70/100	ТОО «С»
Тип 5	БНД 70/100	ТОО «D»
Тип 6	БНД 70/100	ТОО «Е»
Тип 7	БНД 70/100	ТОО «F»
Тип 8	БНД 70/100	ТОО «G»
Тип 9	БНД 50/70 модифицированный	ТОО «А»

Испытания для определения точки размягчения выполнены по стандартному методу «кольцо и шар» согласно СТ РК 1227-2003. Целью испытания являлось выявить температуру, при которой битум, находящийся в кольце стандартного размера, размягчается и под действием стального шарика проходит расстояние $25,0 \pm 0,4$ мм. Для каждого типа битума было проведено не менее пяти измерений для получения статистически значимых результатов. Пределы допустимой погрешности установлены следующим образом: при температуре размягчения до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустимое отклонение составляет $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; свыше $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14].

Определение динамической вязкости выполнено стандартным методом согласно СТ РК 1211-2003. Цель испытания — установить зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига. Измерения проводились в вискозиметре с вакуумными капиллярами при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, фиксируя время прохождения битума через капилляры под вакуумом [15]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для статистической обработки результатов. Допустимое расхождение между значениями - не более 10%.

Определение температуры вспышки проведено стандартным методом по СТ РК 1804-2008. Целью испытания было установление минимальной температуры воспламенения паров битума в воздушной среде при атмосферном давлении [16]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для статистической оценки результатов, с допустимым отклонением не более $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура хрупкости по Фраасу определена по стандарту СТ РК 229-2003. Этот показатель характеризует степень хрупкости битума при низких температурах. Цель испытания - определить температуру, при которой происходит нарушение целостности битумной пленки под нагрузкой [17]. Для каждого типа битума выполнено не менее пяти измерений для получения статистически достоверных результатов, при допустимом отклонении между значениями не более $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Повторные испытания для оценки изменений физико-механических свойств битума были проведены после его старения в камере RTFOT, согласно стандартной методике СТ РК 1224-2023. В процессе старения битума в камере создается постоянное обновление его

пленки путем нагрева воздушными потоками в вращающейся колбе при температуре $163 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 75 ± 1 минут. Частота вращения барабана составляла $0,25 \pm 0,003 \text{ c}^{-1}$ ($15,0 \pm 0,2$ об/мин), а подача воздуха осуществлялась с расходом 4000 ± 200 мл/мин [18]. Количество образцов и допустимые погрешности были аналогичны испытаниям, проведенным для оценки исходных характеристик.

Результаты испытаний

Определение температуры размягчения

На рисунках 1 - 4 представлены средние значения температур размягчения исследуемых типов образцов. Кривые диаграммы рисунка 1 показывают начальные температуры размягчений и остаточные после состаривания образцов RTFOT. Прямые диаграммы рисунка 1 показывают предельно допустимые показатели температур размягчения битумов марок 50/70 и 70/100.

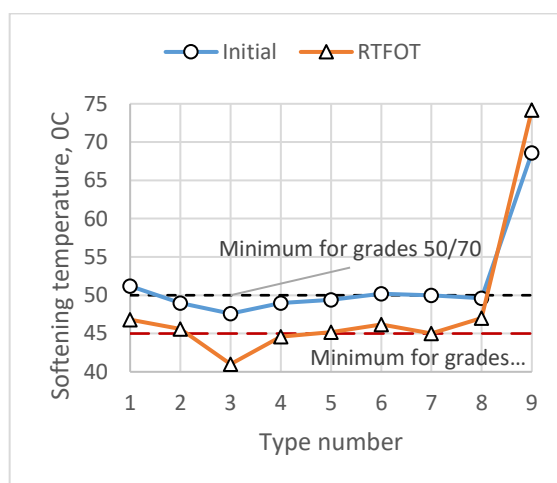


Рисунок 1 - Предельно допустимые показатели температур размягчения битумов марок 50/70 и 70/100

На рисунке 2 показаны изменения температур размягчений после состаривания образцов. На рисунке 3 и 4 показаны коэффициенты вариаций частных значений температур размягчений до и после состаривания 5 образцов каждого типа соответственно. Для визуализации образцы до и после состаривания условно объединены линиями, которые не означают связь или закономерность data points, а определяют принадлежность результатов к конкретной серии испытаний.

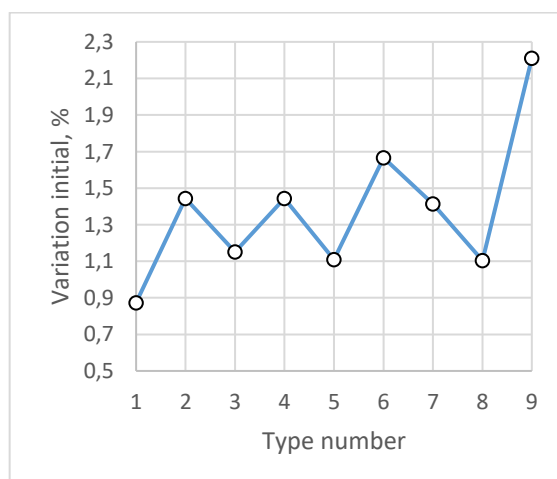
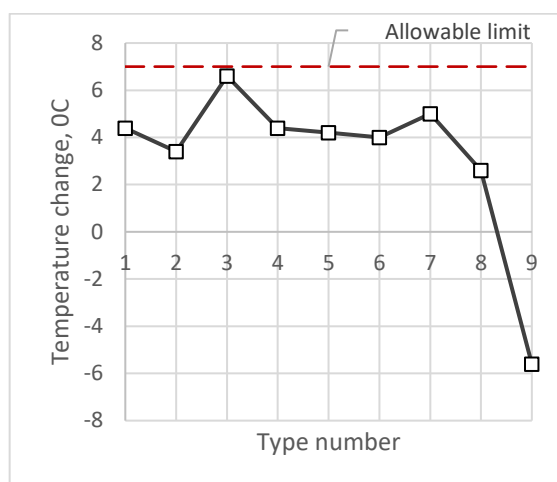
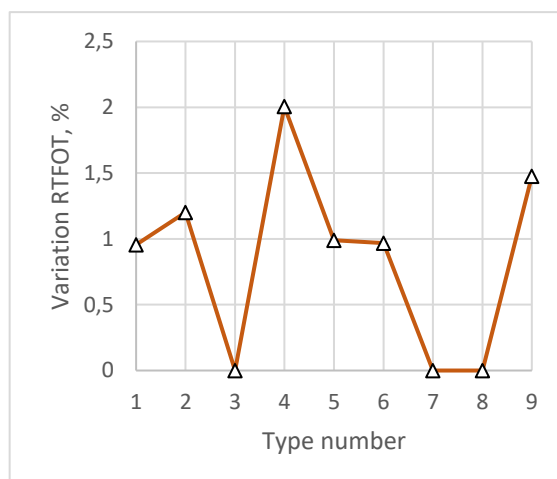


Рисунок 2 - Изменения температур размягчений после состаривания образцов**Рисунок 3 - Коэффициент вариаций частных значений температур размягчений до состаривания****Рисунок 4 - Коэффициент вариаций частных значений температур размягчений после состаривания**

Согласно полученным результатам, начальная температура размягчения для битумов низкой марки в среднем составляет 51.2 °С, что соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 50/70 – не ниже 50 °С. Средние начальные значения температуры размягчения битумов высокой марки варьируются от 47.6 до 50.2 °С, что также соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 70/100 – не ниже 45 °С. Максимальные значения температур размягчения выявлены у образцов типа 6 и 7, составляют 50.0 и 50.2 °С соответственно. Средние значения у образцов типа 2, 4, 5 и 8, составляют 49.0, 49.0, 49.4, 49.6 °С соответственно. Самые низкие значения показали образцы типа 3 – 47.6 °С. Образцы модифицированного битума показали высокие значения температуры размягчения, варьирующиеся от 68 до 71 °С, а среднее – 68.6 °С. Повышение температуры прежде всего связано с наличием полимеров в составе модификатора, которые придают битуму большую жесткость. Снижение температуры размягчения после состаривания битума низкой марки в среднем составило 8.6 %, в абсолютных величинах составляет 46.8 °С. Максимальное снижение битумов высокой марки выявлено у образцов типа 3 и 7, составляет 13.9 % (41.0 °С) и 10.0 % (45.0 °С) соответственно. Средние

показатели наблюдались у образцов типа 4, 5 и 6, составили 9.0 % (44.6 °C), 8.5 % (45.2 °C) и 8.0 % (46.2 °C), соответственно. Минимальные показатели у образцов типа 2 и 8, составили 6.9 % (45.6 °C) и 5.2 % (43.6 °C), соответственно. Образцы модифицированного битума показали обратную закономерность по изменению температуры размягчения после состаривания. Показатели температуры размягчения увеличились до 74.2 °C (честные от 73 до 76 °C), что прежде всего связано с тем, что в результате испарения битума, его объемная доля по отношению к полимеру снижается, следовательно, битум становится более жестким [19]. Таким образом результаты изменений температур после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 4.4 %, а после модификации -5.6. Изменение температур высоких марок варьируется от 2.6 до 6.6 %. Все показатели изменений температур размягчения не превышают предельно допустимые значения марок 50/70 и 70/100 – не более 7 °C. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам, следовательно, пригодности для последующего анализа. Все коэффициенты вариаций частных значений исходных температур размягчений не превышают 2.2 %, а после состаривания не превышают 2.0 %. Очень низкий разброс данных говорит о высокой степени сходимости результатов измерений и статистической точности. Различие между частными значениями не превышает 2 °C, что соответствует требованиям стандарта (см. Раздел методы)

Определение динамической вязкости

На рисунках 5 - 8 представлены средние значения динамических вязкостей (вязкостей) исследуемых типов образцов. Кривые диаграммы рисунка 5 показывают начальные значения вязкостей и остаточные после их состаривания. Прямые диаграммы рисунка 5 показывают предельно допустимые показатели вязкостей битумов марок 50/70 и 70/100.

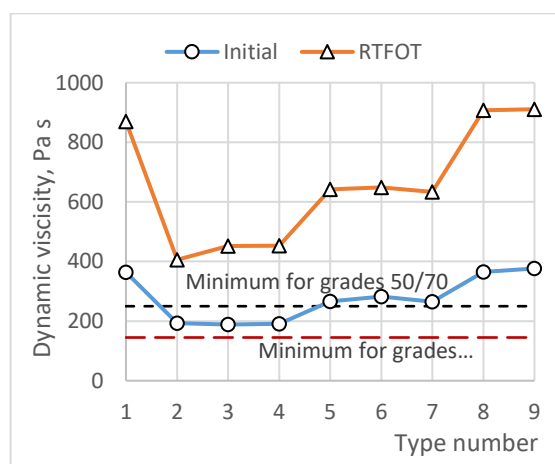


Рисунок 5 - Начальные значения вязкостей и остаточные после их состаривания

На рисунке 6 показан коэффициент возрастания динамических вязкостей, определенный как отношение показателя динамической вязкости при 60 °C после его состаривания, к исходному показателю динамической вязкости при 60 °C.

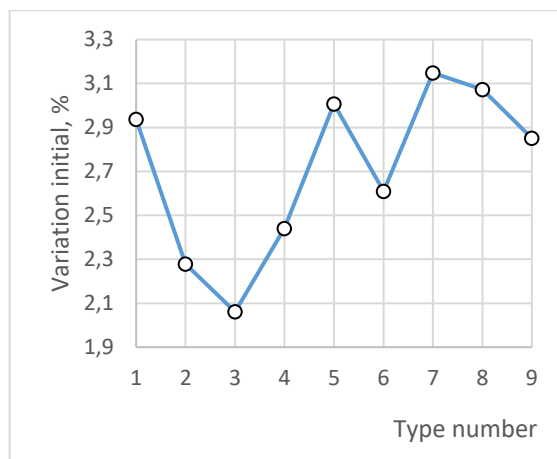


Рисунок 6 - Коэффициент возрастания динамических вязкостей

На рисунке 7 и 8 показаны коэффициенты вариаций частных значений вязкостей до и после состаривания 5 образцов каждого типа соответственно. Для визуализации образцы до и после состаривания условно объединены линиями, которые не означают связь или закономерность data points, а определяют принадлежность результатов к конкретной серии испытаний.

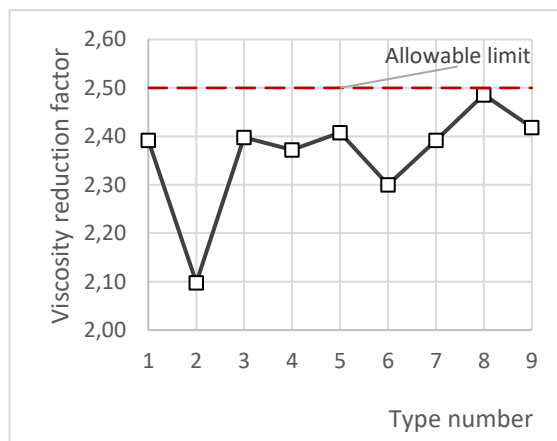


Рисунок 7 - Коэффициент вариаций частных значений вязкостей после состаривания

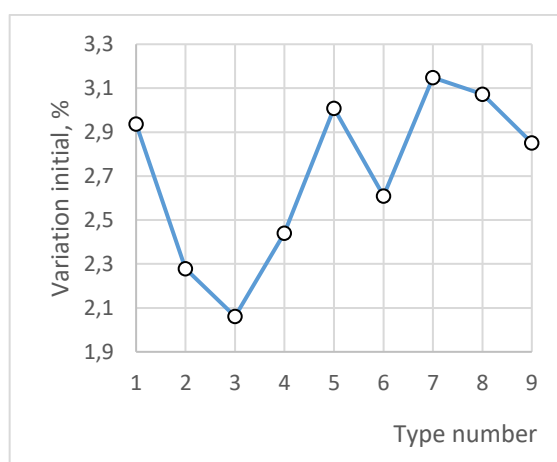


Рисунок 8 - Коэффициент вариаций частных значений вязкостей после состаривания

Согласно полученным результатам, начальная динамическая вязкость для битумов низкой марки в среднем составляет 363.7 Па·с, что соответствует требованиям, предъявляемым к маркам 50/70 – не ниже 250 Па·с. Средние начальные значения вязкостей битумов высокой марки варьируются от 188.6 до 365.0 Па·с, что также соответствует

требованиям, предъявляемым к маркам 70/100 – не ниже 145 Па·с. Максимальные значения динамической вязкости, характеризующие высокую вязкость битума, выявлены у образцов типа 8, составляют 365.0 Па·с. Средние значения вязкости у образцов типа 5, 6 и 7 составляют 266.5, 282.0 и 264.7 Па·с, соответственно. Самые низкие значения выявлены у образцов типа 2, 3 и 4, составляют 193.4, 188,6 и 191.3.6 Па·с, соответственно. Образцы модифицированного битума показали закономерное увеличение вязкости (относительно не модифицированного битума 50/70), по той же причине наличия полимеров в составе добавки, в среднем составили 376.6 Па·с (от 359 до 386 Па·с), при коэффициенте вариации 2.9%. Увеличение вязкости после состаривания битума низкой марки в среднем составило 139%, что в абсолютных величинах составляет 869.5 Па·с. Максимальное увеличение вязкости битумов высокой марки выявлено у образцов типа 8, в абсолютных величинах составляет 907.1 Па·с, а относительно исходных составляет 148 %. Средние показатели наблюдались у образцов типа 5, 6 и 7, составили 641.7 Па·с (140 %), 648.7 Па·с (130 %) и 633.2 Па·с (139 %), соответственно. Низкие показатели у образцов типа 2, 3 и 4, составили 405.9 Па·с (109 %), 452.1 Па·с (139 %) и 453.5 Па·с (137 %), соответственно. Образцы модифицированного битума после состаривания в целом показали схожую динамику изменения вязкости, что и марки битумов 50/70 и 70/100, в среднем вязкость составила 910.8 Па·с (от 854 до 948 Па·с). Полученные коэффициенты возрастания динамической вязкости после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 2.39, а высоких марок от 2.10 до 2.49. Коэффициент возрастания динамической вязкости после включения модификатора незначительно возрос, составил 2.42 %. Все показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам, следовательно, пригодности для последующего анализа. Все коэффициенты вариаций частных значений исходных вязкостей не превышают 3.1 %, а после состаривания не превышают 3.9 %. Относительно низкий разброс данных говорит об относительно высокой степени сходимости результатов измерений и статистической точности. Различие между частными значениями не превышают 10%, что соответствует требованиям стандарта (см. Раздел методы). Говорить о каком-либо влиянии модифицированной добавки на изменения динамической вязкости, а тем более негативном, не приходится, поскольку незначительные изменения лежат в пределах статистической погрешности частных измерений и соответствуют нормативным требованиям.

Определение температуры вспышки

На рисунке 9 и 10 представлены результаты измерений температуры воспламенения образцов. На рисунке 9 показаны средние показатели 5 образцов каждого типа битума, а на рисунке 10 соответствующие им коэффициенты вариаций. Испытания были проведены только для оценки первоначальных показателей без состаривания образцов. Последнее связано с тем, что данный показатель относится к оценке содержания воспламеняемых летучих веществ, значимость которого актуальна при транспортировке и укладке битума с точки зрения пожарной безопасности. Данный показатель не существенен для оценки эксплуатационной пригодности асфальтобетона, не имеет большой значимости при долгосрочной эксплуатации дорог [20].

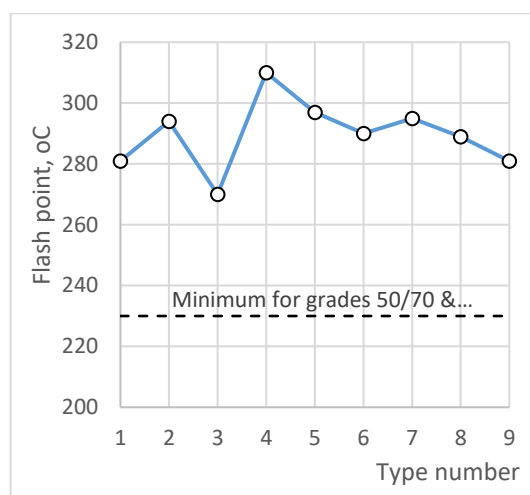


Рисунок 9 - Средние показатели температуры воспламенения для 5 образцов каждого типа битума

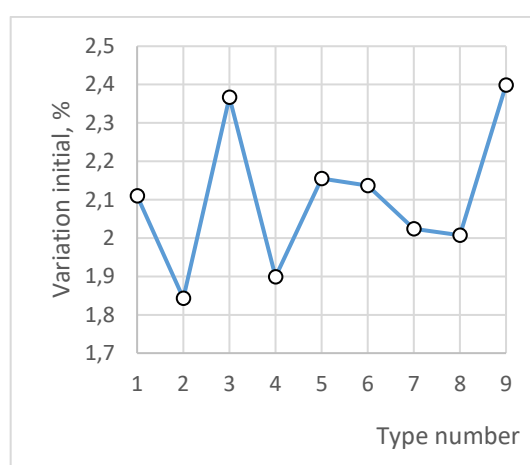


Рисунок 10 - Коэффициенты вариаций температуры воспламенения для образцов битума

Согласно полученным результатам, среднее значение температуры воспламенения образцов марки 50/70 составило 281.2 °С, частные значения лежат в диапазоне 272 – 285 °С, а коэффициент вариации составил 2.1 %. Средние значения температур вспышки образцов марки 70/100 варьируются от 271.2 до 310.2 °С, а коэффициенты вариаций не превышают 2.4%. Средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил 292.4 °С, при коэффициенте вариации 3.96 %. Полученные средние показатели температуры вспышки в пределах каждого образца имеют высокую степень достоверности, а средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов имеет высокую сходимость (о чем свидетельствуют коэффициенты вариаций). Среднее значение температуры вспышки модифицированного битума составило 281.8 °С, при коэффициенте вариации 2.4 %. Все полученные частные значения температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Говорить о каких-либо изменениях температуры вспышки не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора.

Определение температуры хрупкости

На рисунке 11 и 12 представлены результаты измерений температуры хрупкости образцов. На рисунке 11 показаны средние показатели 5 образцов каждого типа битума, а

на рисунке 12 соответствующие им коэффициенты вариаций. Испытания были проведены только для оценки первоначальных показателей без состаривания образцов.

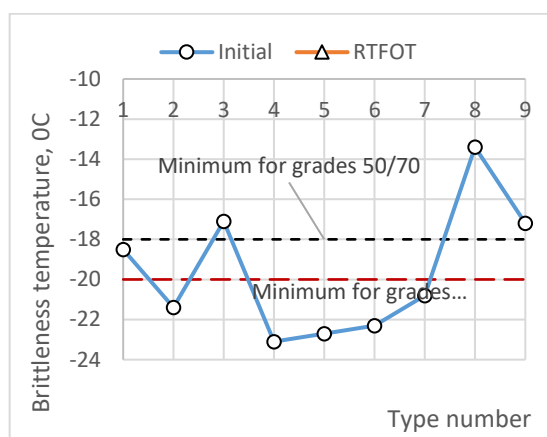


Рисунок 11 - Средние показатели температуры хрупкости для 5 образцов каждого типа битума

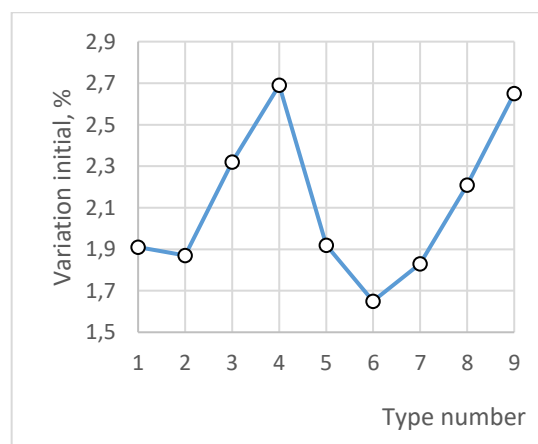


Рисунок 12 - Коэффициенты вариаций температуры хрупкости для образцов битума

Согласно результатам испытаний, среднее значение температуры хрупкости образцов марки 50/70 составило - 18.5 °С, частные значения лежат в диапазоне – (17.8 - 19.7) °С, а коэффициент вариации составил 1.9 %. Средние значения температур хрупкости образцов марки 70/100 показали большой разброс в зависимости от производителя, варьируются от - 13.4 до - 23.1 °С. Средний показатель температуры хрупкости в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил - 20.1 °С. Полученные средние показатели температуры вспышки в пределах каждого образца имеют высокую степень достоверности, коэффициенты вариаций не превышают 2.7 %. Средний показатель температуры вспышки в разрезе всех типов имеет низкую сходимость (о чем свидетельствует коэффициенте вариации 17.8 %). Среднее значение температуры хрупкости модифицированного битума составило - 17.2 %, при коэффициенте вариации 2.7 %. Говорить о каких-либо изменения температуры хрупкости не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора. Если сравнивать полученные значения с нормативными, все частные значения хрупкости образцов низкой марки соответствуют требованиям, лежат выше порогового предела – не выше - 18.0 °С. Для высоких марок битума у 2 из 7 производителей температура хрупкости не соответствует нормативным требованиям, превышает пороговый показатель – не выше - 20 °С. Температура хрупкости после модификации, так же не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок.

Закключение

Выполнен комплекс испытаний по оценке температурных показателей битумов разных марок и производителей. Задачей исследования было сравнение температурных показателей битумов марки 50/70 до и после модификации с показателями битумов марки 70/100. В качестве контрольных показателей были температура размягчения, воспламенения и хрупкости, а также динамическая вязкость.

Согласно результатам измерений температуры размягчения, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации показали устойчивые значения, составили 51.2 °С, а после модификации 68.6 °С. Увеличение температуры размягчения прежде всего связано с наличием полимеров в составе модификатора, которые придают битуму большую жесткость [21]. Температура размягчения образцов высоких марок (Тип 2-8) в среднем составила 49.3 °С. Изменение температур высоких марок варьируется от 2.6 до 6.6 %, изменения температур после состаривания образцов низких марок битума в среднем составили 4.4 %, а после модификации - 5.6, что прежде всего связано с тем, что в результате испарения битума, его объемная доля по отношению к полимеру снижается, следовательно, битум становится более жестким [22]. Обратная закономерность изменения температуры размягчения модифицированных образцов несет больше положительный эффект, поскольку больше отдалены от предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 7 °С.

Согласно результатам измерений динамической вязкости, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили 363.7 Па·с, а после модификации 376.6 Па·с. Влиянии модифицированной добавки на изменения динамической вязкости не выявлено, поскольку незначительные изменения лежат в пределах статистической погрешности частных измерений и соответствуют нормативным требованиям. Динамическая вязкость образцов высоких марок (Тип 2-8), в разрезе сравниваемых типов имеет большой разбег данных, о чем свидетельствует коэффициент вариации 26 %, в среднем составила 250.2 Па·с. Все показатели коэффициентов возрастания динамической вязкости не превышают предельно допустимого значения марок 50/70 и 70/100 – не более 2.5. Последнее говорит о приемлемости полученных результатов, их соответствии нормам.

Согласно результатам измерений температур воспламенений, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили 281.2 °С, а после модификации 281.8 °С. Говорить о каких-либо изменениях температуры вспышки после включения в состав добавки, не приходится, поскольку незначительные изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности, которая оказалась не чувствительной (погрешность) к включению в состав битума новых компонентов модификатора. Средние значения температур вспышки образцов марки 70/100 варьируются от 271.2 до 310.2 °С, а средний показатель в разрезе всех типов образцов марки 70/100 составил 292.4 °С. Все полученные частные значения температур вспышки превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С.

Согласно результатам измерений температур хрупкостей, контрольные образцы битума низкой марки (Тип 1) до модификации составили -18.5 °С, а после модификации -17.2 °С. Таким образом, влияние модифицированной добавки, также становится не чувствительной к изменению хрупкости, изменения абсолютных и частных значений лежат в пределах статистической погрешности. Средние значения температур хрупкости образцов марки 70/100 показали большой разброс в зависимости от производителя, варьируются от -13.4 до -23.1 °С, а средний показатель составил -20.1 °С. Все полученные частные значения температур хрупкости превышают предельно допустимое значение для марок 50/70 и 70/100 – 230 °С. Все частные значения хрупкости образцов низкой марки соответствуют требованиям, лежат выше порогового предела – не выше -18.0 °С. Для высоких марок битума данный показатель не соответствует нормативным требованиям (не выше -20 °С) у 2 из 7 производителей. Температура хрупкости после модификации, также

не соответствует требованиям высоких марок, однако, в частных случаях ниже некоторых средних значений хрупкости высоких марок.

В целом, согласно проведенным исследованиям, включение в состав битума низкой марки модификатора, не оказывает негативного влияния на ухудшение температурных показателей. В одних случаях наблюдается положительный эффект (температура размягчения), в других отсутствие негативного влияния (динамический коэффициент, температуры воспламенения и хрупкости), что в целом можно отнести к положительному результату исследования. Последующие исследования будут направлены на оценку физико-механических показателей модифицированных битумов, являющихся базовыми для оценки его эксплуатационной пригодности (пенетрация, дуктильность и пр.).

Список литературы

1. Белятинский А., Ян С., Краюшкина К., Шао М., Та М. Исследование возможности использования фосфорных шлаков в дорожном строительстве // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2022. Т. 36. С. 101262.
2. Ху Ю., Си В., Кан С., Сюэ Ю., Ван Х., Парри Т., Эйри Г.Д. Современное состояние: Многоуровневая оценка старения битума // *Fuel*. 2022. Т. 326. С. 125045.
3. Алиха М.Р.М., Шакер С. Влияние типа битума, температуры и старения на прочность на сдвиг смешанного типа I/II битумных вяжущих: экспериментальная и теоретическая оценка // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2020. Т. 110. С. 102801.
4. Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Енкебаев С.Б., Цыгулёв Д.В. Пропиточный состав для повышения антиобледенительных свойств бетонных дорог // *Digital Technologies in Construction Engineering*. 2022. С. 305–311. Springer International Publishing.
5. Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б., Цыгулёв Д.В., Дюсембинов Д.С. Оценка воздействия погружения свай на существующее жилое здание путем измерения вибрационных эффектов // *AIP Conference Proceedings*. 2023. Т. 2758. № 1. AIP Publishing.
6. Аль-Атруш М.Э. Структурное поведение геотермоэлектрического асфальтового покрытия: критический обзор в контексте изменения климата // *Heliyon*. 2022. Т. 8. № 12.
7. Кирничный В.Ю. Приоритеты и механизм модернизации автомобильного и дорожного комплекса // *Вестник Сибирской государственной автомобильной и дорожной академии*. 2011. № 22. С. 58–61.
8. Омран М., Шафи М., Егоров И. Проблемы, связанные с изменением климата для гибких дорожных покрытий в Канаде: обзор // *Journal of Cold Regions Engineering*. 2021. Т. 35. № 4. С. 03121002.
9. Ян С., Белятинский А., Першаков В., Шао М., Та М. Асфальтобетон на основе полимерно-битумного вяжущего, наномодифицированного углеродными нанотрубками для дорожного и аэродромного строительства // *Journal of Polymer Engineering*. 2022. Т. 42. № 5. С. 458–466.
10. Унаибаяев Б.З., Унаибаяев Б.Б., Андрияченко В. Буронабивные сваи в кожухах из нефтебитумных пород (КИРС) в условиях засоленных грунтов // *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. 2021. Т. 30. № 1.
11. Порто М., Капуто П., Луизе В., Эскандарсефат С., Телтаев Б., Оливьеро Росси К. Битум и его модификация: обзор последних достижений // *Applied Sciences*. 2019. Т. 9. № 4. С. 742.
12. Ишак М.А., Джустоцци Ф. Корреляция между реологическими испытаниями битума и испытаниями асфальта на растрескивание при низких температурах // *Construction and Building Materials*. 2022. Т. 320. С. 126109.
13. Рахман С., Басин А., Смит А. Применение машинного обучения для прогнозирования характеристик асфальтовых смесей // *Construction and Building Materials*. 2021. Т. 295. С. 123585.

14. Яро Н.С.А., Сутанто М.Х., Хабиб Н.З., Напия М., Усман А., Аль-Сабай А.М., Рафик В. Оптимизация свойств асфальтобетонной смеси с модифицированным битумом на основе золы пальмовых косточек методом отклика поверхности и исследование влагоустойчивости // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2024. Т. 17. № 1. С. 123–150.
15. Эсмаили С., Сарма Х., Хардинг Т., Майни Б. Двухфазная относительная проницаемость битум/вода при различных температурах и давлениях SAGD: экспериментальное исследование // *Fuel*. 2020. Т. 276. С. 118014.
16. Ли Х., Цзя М., Чжан С., Ван Ч., Лю Ю., Ян Ц., Ян Б., Сунь Ю., Ван Х., Ма Х. Лабораторное исследование испарений, образующихся при использовании различных модифицированных битумов // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. Т. 121. С. 103828.
17. Ахмедзаде П. Исследование и сравнение влияния SBS и SBS с новым реакционноспособным терполимером на реологические свойства битума // *Construction and Building Materials*. 2013. Т. 38. С. 285–291.
18. Нойман А., Кефер У., Грёгер Т., Вильхарм Т., Циммерман Р., Рюгер К.П. Исследование процессов старения битума на молекулярном уровне с использованием высокоразрешающей ИК-Фурье-спектроскопии и двумерной газовой хромато-масс-спектроскопии // *Energy & Fuels*. 2020. Т. 34. № 9. С. 10641–10654.
19. Мирвальд Й., Верковиц С., Камарго И., Машауэр Д., Хофко Б., Гроде Х. Понимание старения битума через исследование его полярных фракций // *Construction and Building Materials*. 2020. Т. 250. С. 118809.
20. Джемшиди А., Уайт Г., Курумисава К. Функциональные и эксплуатационные характеристики эпоксидной асфальтовой технологии: современное состояние // *Road Materials and Pavement Design*. 2023. Т. 24. № 4. С. 881–918.
21. Бехнуд А., Гхарехверан М.М. Морфология, реология и физические свойства полимермодифицированных битумов // *European Polymer Journal*. 2019. Т. 112. С. 766–791.
22. Проспери Э., Бокки Э. Обзор старения и омоложения битума: процессы, материалы и методы анализа // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 12. С. 6523.

Сведения об авторах (на трех языках):

Амирбаев Ерік Диханбайұлы – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ вице-президенті, Астана, Қазақстан, erik_neo@mail.ru

Амирбаев Ерик Диханбаевич – вице-президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, erik_neo@mail.ru

Amirbayev Erik Dikhanbayevich – Vice President, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, erik_neo@mail.ru

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ зертхана меңгерушісі, Астана, Қазақстан, dimash_a92@mail.ru

Алижанов Динмухамбет Алижанұлы – заведующий лабораторией АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, dimash_a92@mail.ru

Alizhanov Dinmukhammet Alizhanuly – Head of Laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, dimash_a92@mail.ru

Жұмағұлова Әдия Аскарқызы – т.ғ.к., доцент, «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының доцент м.а., КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, adiya_kokbe@mail.ru

Жумагулова Адия Аскаровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, adiya_kokbe@mail.ru

Zhumagulova Adiya Asqarqyzy – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Acting Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, adiya_kokbe@mail.ru

Лұқпанов Рауан Ермағамбетұлы – PhD, қауымдастырылған профессор, «Өнеркәсіптік және тұрғын үй құрылысы технологиясы» кафедрасы, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, rauan_82@mail.ru

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, rauan_82@mail.ru

Lukpanov Rauan Ermagambetovich – Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, rauan_82@mail.ru

Дүйсембинов Думан Серікұлы – к.т.н., «Өнеркәсіптік және тұрғын үй құрылысы технологиясы» кафедрасының уақытша міндетін атқарушы доценті, КЕАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана, Қазақстан, dusembinov@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович – кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва», Астана, Казахстан, dusembinov@mail.ru

Dyusembinov Duman Serikovich – Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Department of Industrial and Civil Construction Technology, NJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan, dusembinov@mail.ru

Вклад авторов:

Амирбаев Е.Д. - концепция, методология, анализ, визуализация, редактирование

Алижанов Д.А.- сбор данных, моделирование, интерпретация

Жумагулова А.А.- тестирование, ресурсы, подготовка текста

Лукпанов Р.Е. - методология, интерпретация, визуализация

Дюсембинов Д.С. - моделирование, анализ, редактирование, оформление

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): Авторы не использовали искусственный интеллект при подготовке данной работы.

**ЖОҒАРЫ САПТЫ БИТУМДАРМЕН САЛЫСТЫРҒАН ТӨМЕНІ СҰРАНЫ
МОДИФИФИРЛЕНГЕН БИТУМДАРДЫҢ ТЕМПЕРАТУРА КӨРСЕТКІШТЕРІН
БАҒАЛАУ**

**Е.Д. Амирбаев¹, Д.А.Алижанов¹, А.А. Жұмағұлова^{1,2*}, Р.Е.Лұқпанов², Д.С.
Дүйсембинов²**

¹«Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ

²«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» Коммерциялық акционерлік қоғам

*Корреспондент автор: adiya_kokbe@mail.ru

Аннотация. Асфальтбетонды жабындардың беріктігін қамтамасыз ету үшін климаттық аймаққа байланысты битумның әртүрлі маркалары қолданылады: 70/100 және одан төмен битум маркалары ыстық оңтүстік аймақтар үшін, ал солтүстік аймақтар үшін 100/130 қолданылады [1]. Бірақ битум температура мен күн радиациясының әсерінен қартаюға ұшырайды, бұл оның серпімділігін, адгезиясын және деформацияға төзімділігін төмендетеді [2]. Зерттеудің мақсаты – төменгі сортты битумның қасиеттеріне

модификациялық қоспаның әсерін талдау және алынған нәтижелерді жоғары сортты битумның сипаттамаларымен салыстыру. Сынақтар әртүрлі өндірушілердің М 50/70 және М 70/100 маркалы битум үлгілері бойынша жүргізілді. Битум үлгілерінің жылдам қартаюы табиғи қартаю жағдайларын имитациялай отырып, RTFOT камерасында жүргізілді. Битумды ескіргеннен кейін жұмсарту температурасы, динамикалық тұтқырлық, тұтану температурасы және сынғыштық сияқты көрсеткіштер анықталды. Жұмсарту температурасын өлшеу нәтижелері бойынша төменгі сортты битум үлгілері (1 типті) модификацияға дейін тұрақты мәндерін көрсетті, 51,2 °С, ал модификациядан кейін 68,6 °С құрады. Динамикалық тұтқырлықты арттыру коэффициенттерінің көрсеткіштері 50/70 және 70/100 маркаларының рұқсат етілген ең жоғары мәнінен аспайды - 2,5-тен аспайды. Тұтану температурасының мәндерін өлшеу 50/70 және 70/100 - 230 °С үшін рұқсат етілген ең жоғары мәннен асып түседі. Модификациядан кейінгі морттылық температурасы да жоғары сорттардың талаптарына сәйкес келмейді, дегенмен кейбір жағдайларда жоғары сорттардың кейбір орташа сынғыштық мәндерінен төмен [3]. Осылайша, төменгі сортты битум құрамына модификаторды қосу оның температуралық көрсеткіштерінің нашарлауына теріс әсер етпейді, сонымен қатар кейбір жағдайларда ол жоғары сортты битумға қарағанда жоғары нәтиже көрсетеді.

Түйінді сөздер: битум, битум жұмсарту нүктесі, пластикалық, битум тұтану температурасы.

ASSESSMENT OF TEMPERATURE INDICATORS OF LOW GRADE MODIFIED BITUMEN IN COMPARISON WITH HIGH GRADE BITUMENS

Y.D.Amirbaev¹, D.A.Alizhanov¹, A.A. Zhumagulova^{1,2*}, R.E. Lukpanov², D.S. Dyusembinov²

¹«Kazakhstan Road Research Institute» JSC

² «L.N. Gumilyov Eurasian National University» NJSC

*Corresponding author: adiya_kok6e@mail.ru

Abstract. To ensure the durability of asphalt concrete pavements, different grades of bitumen are used depending on the climate zone: bitumen grades 70/100 and lower are used for hotter southern regions, and 100/130 for colder northern regions [1]. However, bitumen is subject to aging due to the effects of temperatures and solar radiation, which reduces its elasticity, adhesion and resistance to deformation [2]. The aim of the study is to analyze the effect of a modifying additive on the properties of low-grade bitumen and compare the results with the characteristics of higher-grade bitumen. The tests were carried out on samples of M 50/70 and M 70/100 grades of bitumen from various manufacturers. Accelerated aging of bitumen samples was carried out in an RTFOT chamber, simulating natural aging conditions. After aging the bitumen, such indicators as softening point, dynamic viscosity, flash point and brittleness were determined. According to the softening temperature measurements, the samples of low-grade bitumen (Type 1) before modification showed stable values of 51.2 °C, and after modification 68.6 °C. The dynamic viscosity increase coefficients do not exceed the maximum permissible value of grades 50/70 and 70/100 - no more than 2.5. The flash point measurement values exceed the maximum permissible value for grades 50/70 and 70/100 - 230 °C. The brittleness temperature after modification also does not meet the requirements of high grades, however, in some cases it is lower than some average brittleness values of high grades [3]. Thus, the inclusion of a modifier in the composition of low-grade bitumen does not have a negative effect on the deterioration of its temperature indicators, moreover, in some cases it shows a result higher than that of a higher grade bitumen.

Keywords: bitumen, bitumen softening point, plasticity, bitumen flash point.



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/>).