

МОДИФИКАЦИЯ БИТУМОВ И АСФАЛЬТОБЕТОНОВ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Кищинский С.В., заведующий отделом Государственного дорожного научно-исследовательского института имени Н.П.Шульгина, Киев, Украина

Долговечность асфальтобетонных покрытий напрямую связана с качеством используемых материалов и в первую очередь битумов. Битум в наибольшей степени подвержен изменениям под воздействием транспортных нагрузок и погодных условий. Хотя содержание битума составляет 5-7 % от массы асфальтобетона, именно его поведение, как самого «слабого звена» системы, определяет состояние асфальтобетонного покрытия.

Изменить поведение битума можно путем модификации полимерными добавками. Наиболее популярными модификаторами являются термоэластопласты типа СБС: Kraton D (компания Kraton Polimers), Calprene (компания Dynasol) и другие. В Украине наряду с ними широкое применение нашли синтетические латексы серии Butonal NS (компания BASF) и терполимеры серии Elvaloy (компания DuPont).

Перечисленные полимеры снижают чувствительность битумов к изменению температуры, повышают когезионную прочность и теплостойкость вяжущих, придают им эластичность, а также улучшают поведение при низких температурах. Это в свою очередь способствует повышению прочности, сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий.

Главной причиной, которая сдерживает наращивание объемов использования модифицированных битумов, является высокая стоимость полимеров. Введение в битум 2,5-3,5 % термоэластопластов или 1-1,5 % терполимеров повышает стоимость вяжущего в 1,5-2,5 раза.

Использование более дешевых полимеров, к которым относятся термопласты на основе этилена (ЭВА, ЭБА, полиолефины и т. д.), не обеспечивает уменьшает затраты вследствие необходимого их большего содержания в вяжущем (от 5 до 7 %). К тому же термопласты не придают

битумам ряда необходимых свойств, таких как: эластичность, высокая теплостойкость, увеличение пластичности и деформативности при низких температурах и т.д.

В ряде случаев в странах Европы для снижения затрат используют комплексную модификацию битумов полимерами различных классов. В этом случае более дорогой полимер частично заменяется пусть не таким эффективным, но более дешевым модификатором (при условии, что это не приводит к ухудшению качества вяжущего).

Реализацией принципа комплексной модификации битумов стало создание в Государственном дорожном научно-исследовательском институте имени М.П.Шульгина (ГосдорНИИ, Украина) полимерного модификатора Полидом, стоимость которого в 1,5-2 раза ниже стоимости импортных полимерных добавок.

Основой данного модификатора является вторичный полиэтилен (P_{BT}) – дешевый продукт переработки полиэтилена высокого давления. P_{BT} повышает когезионную прочность и теплостойкость битумов, однако делает систему битум–полимер достаточно жесткой, о чем свидетельствует резкое увеличение вязкости модифицированного битума. Для придания битуму эластичности и улучшения его низкотемпературных характеристик P_{BT} соединялся с минимально возможным количеством синтетического латекса Butonal NS 104. Для лучшей совместимости исходных компонентов и полученного модификатора с битумом, а также снижения жесткости битумополимерной системы использовались пластификаторы: нефтяные экстракты, масла и другие нефтепродукты.

Следует отметить, что при оптимальной концентрации Полидома в битуме латекса в нем содержится в 4 раза меньше, чем это нужно в случае модификации вяжущего одним только Butonal NS 104.

Приготовление Полидома осуществляется путем совмещения компонентов в специальных агломераторах или экструдерах с последующей грануляцией гомогенизированного расплава.

Модификация битума Полидомом идентична технологии приготовления битумополимерных вяжущих с использованием термоэластопластов.

Были выполнены исследования битумов, модифицированных 2, 3 и 4 % Полидома.

Определялись как стандартные показатели свойств в соответствии с украинским ДСТУ Б В.2.7-135, так и нестандартные: когезионная прочность, реологические и калориметрические характеристики.

Для сравнения дополнительно определялся ряд показателей свойств битумов, модифицированных различным количеством наиболее популярных в Украине модификаторов: термоэластопласта Kraton D 1101, терполимера Elvaloy AM, синтетического латекса Butonal NS 104 и термопласта Evatane.

Результаты испытаний представлены на графиках и диаграммах 1-14.

Как видно из рисунка 1, при введении 2 % Полидома имеет место достаточно резкое снижение пенетрации битума при температуре 25 °С, некоторая ее стабилизация при содержании от 2 до 3 % и последующая интенсификация повышения вязкости при увеличении добавки до 4 %.

Для битумов, модифицированных другими полимерами, характерна примерно линейная зависимость снижения пенетрации.

При оптимальном содержании Butonal NS 104 пенетрация вяжущего снижается на 20-30·0,1 мм, остальных полимеров – на 30-40·0,1 мм.

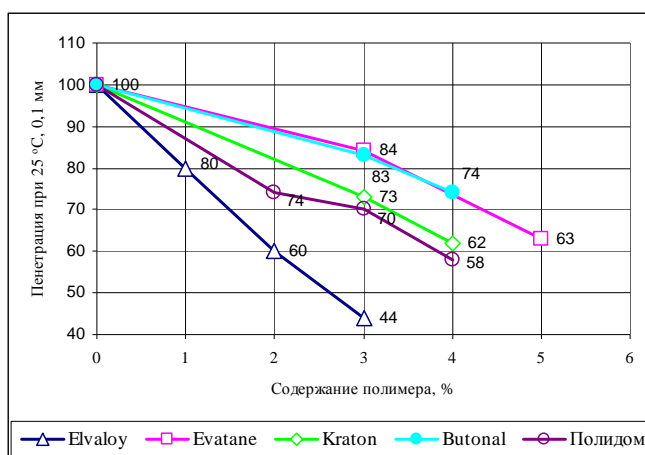


Рис. 1. – Изменение пенетрации при 25 °С в зависимости от содержания в битуме различных полимеров

Введение полимеров значительно повышает температуру размягчения битумов (Рис. 2).

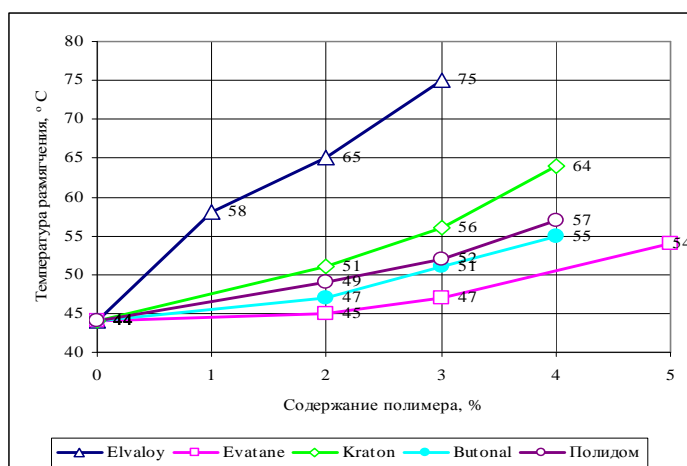


Рис. 2. – Изменение температуры размягчения вяжущих в зависимости от содержания различных полимеров

Повышение температуры размягчения при увеличении содержания Полидома носит линейный характер и при 3 % достигает 10, а при 4 % – 12 °С.

По этому показателю Полидом занимает промежуточное положение, уступая Elvaloy AM и Kraton Д 1101, но опережая Butonal NS 104 и Evatane.

Увеличение содержания Полидома до 4 % практически не влияет на температуру хрупкости. Стабильность этого показателя при увеличении вязкости свидетельствует о лучшем низкотемпературном поведении модифицированного вяжущего по сравнению с чистыми битумами, которые при такой же пенетрации имеют более высокую температуру хрупкости. (Рис. 3)

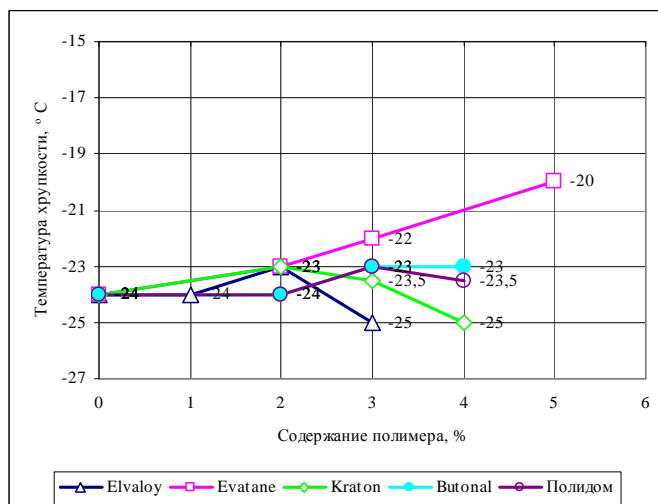


Рис. 3. – Изменение температуры хрупкости вяжущих в зависимости от содержания различных полимеров

Тенденция стабильности температуры хрупкости характерна и для других модифицированных битумов, за исключением битума с Evatane. При введении Evatane температура хрупкости повышается, что является типичным для термопластов типа ЭВА.

Все полимеры, кроме Evatane, придают битумам высокую эластичность (Рис. 4).

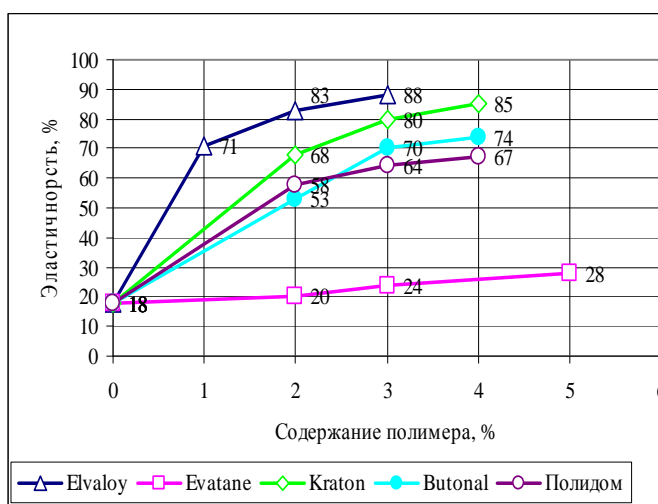


Рис. 4. – Изменение эластичности вяжущих в зависимости от содержания различных полимеров

Интенсивный рост эластичности вяжущего наблюдается при введении до 3 % Полидома с последующей ее стабилизацией при увеличении содержания добавки до 4 %. Такой же характер роста эластичности наблюдается при увеличении концентрации термоэластопласта, терполимера и латекса.

Наибольшую эластичность (до 80-88 %) имеют битумы, модифицированные Elvaloy AM, Kraton Д 1101, несколько меньшую (65-70-%) – Полидом и Butonal NS 104.

Растяжимость при 25 °С при введении полимеров ожидаемо снижается (в случае с Полидомом до 30-40 см) и остается стабильной при содержании модификатора от 3 до 4 %.

Растяжимость при 0 °С у битума с Полидомом меньше, чем у битумов, модифицированных СБС, однако больше, чем у чистых, что говорит о сохранении большей пластичности битума с Полидомом при низких температурах по сравнению с исходными битумами.

Когезия вяжущих определялась по методу профессора В.А.Золотарева (ХНАДУ). Его суть заключается в определении усилия, которое приводит к утрате сплошности образца битума во время плоско-параллельного сдвига при температуре 25 °С.

При модификации Полидомом когезионная прочность битума возрастает более чем в 2 раза (Рис. 5).

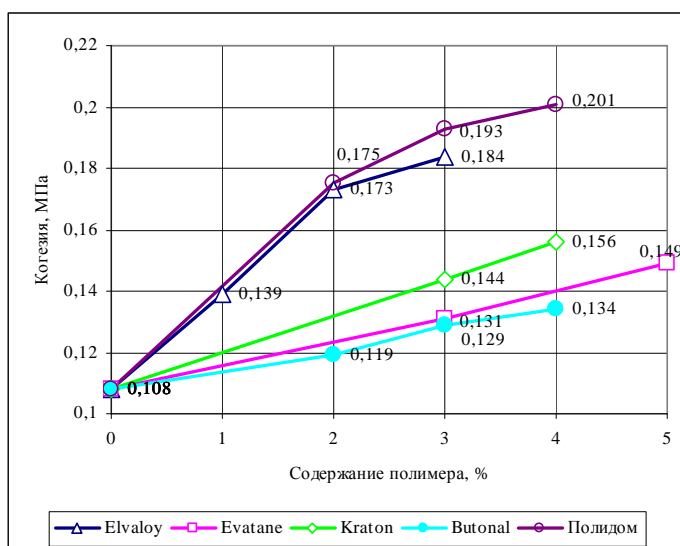


Рис. 5. – Изменение когезии вяжущих в зависимости от содержания различных полимеров

Среди рассматриваемых полимеров Полидом придает битумам наибольшую когезионную прочность. За ним идет Elvaloy АМ, далее Kraton D 1101, Evatane и Butonal NS 104.

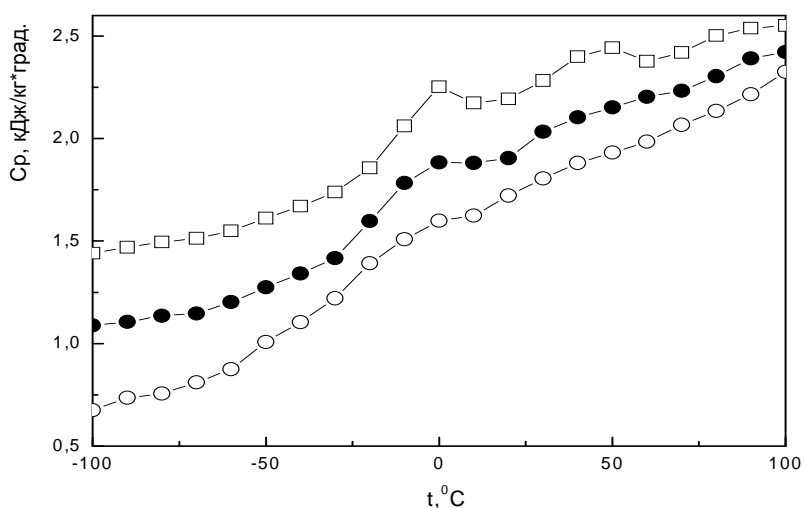
Таким образом, сравнительный анализ результатов испытаний битумов, модифицированных Полидомом, показал близость его свойств с полимербитумными вяжущими, которые получены с использованием наиболее распространенных в Украине полимеров.

Исходный битум и битум с Полидомом исследовались калориметрическим методом с использованием дифференциального сканирующего калориметра на диатермической оболочке ДСК-Д. Испытания исходного битума показали сложную зависимость удельной теплоемкости от температуры. Она характеризуется наличием ряда структурно-релаксационных переходов. Установлено, что при температуре сопоставимой с температурой хрупкости

битума происходит переход системы из хрупкого (стекловидного) в вязкопластичное (высокоэластичное) состояние.

Релаксация при $T_v = 49$ °С (близкой к температуре размягчения битума) свидетельствует о завершении фазово-структурных преобразований в битуме с последующим переходом его в вязкотекучее состояние.

Введение в битум 3 % Полидома снижает интенсивность структурных переходов и, как следствие, способствует менее резкому изменению физико-механических свойств системы, т. е. меньшей температурной чувствительности вяжущего (Рис.6).



□ – исходный битум

○ – битум + 3 % Полидома

● – битум + 3 % Полидома после старения по методу RTFOT

Рис. 6 – Зависимость удельной теплоемкости от температуры

Исследование реологических характеристик исходного битума и битума, модифицированного 3 % Полидома проводилось на конусо-пластиночном ротационном вискозиметре РЕОТЕСТ 2.1 при температурах от 25 °С до 80 °С в широком диапазоне скоростей сдвига ($0,56-4860$ с⁻¹).

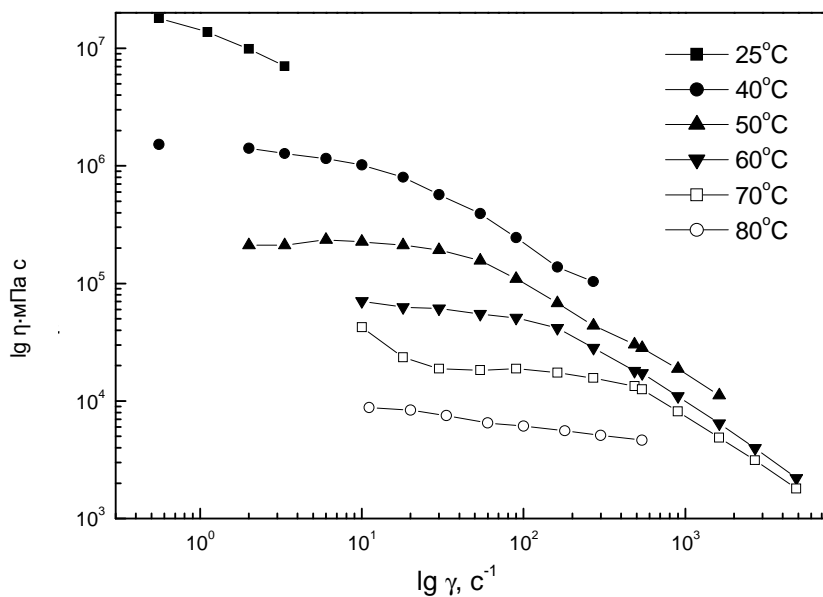


Рис.7 – Зависимость динамической вязкости битума от скорости сдвига $\dot{\gamma}$

Как видно из рисунков 8-10, введение Полидома в битум приводит к десятикратному увеличению вязкости вяжущего при одинаковых напряжениях сдвига. Причем, такая тенденция сохраняется во всем исследованном диапазоне скоростей и напряжений сдвига и температур.

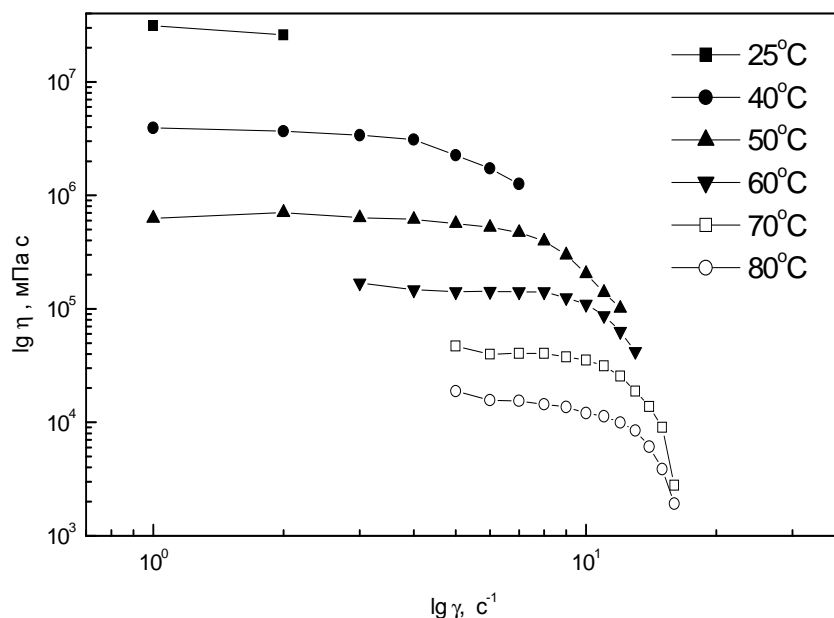
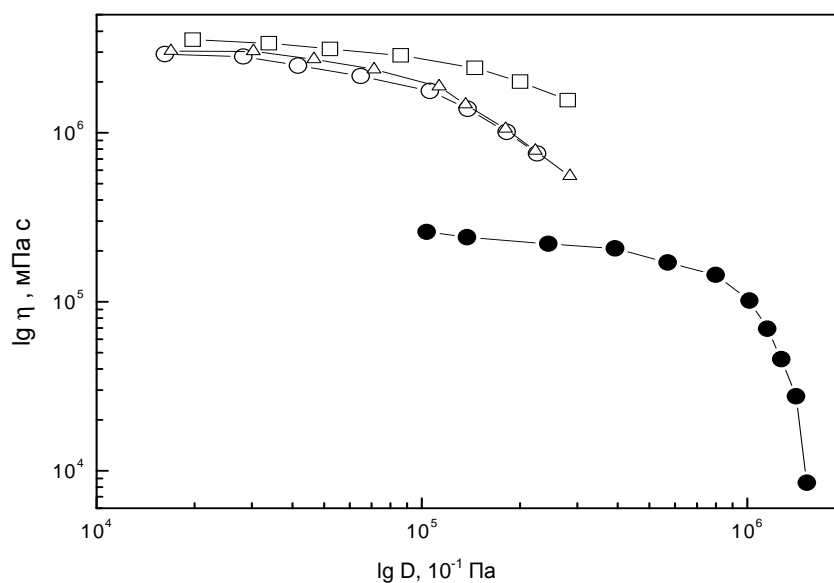


Рис. 8 – Зависимость динамической вязкости композиции битум–Полидом от скорости сдвига $\dot{\gamma}$



—●— битум, —□— битум + 3 %, —△— битум + 2 %, —○— битум + 2,5 %

Рис. 9 – Зависимость динамической вязкости η композиции от напряжения сдвига D при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При повышении температуры разрушение структуры исходного битума значительно ускоряется, что сопровождается общим падением вязкости. В то же время модифицированный битум имеет более высокую вязкость и устойчивость к сдвиговым деформациям. Диапазон напряжения сдвига D , при котором битум с Полидомом остается стабильным превышает 10^5 Па, тогда как структура исходного битума полностью разрушается уже при сдвиговых скоростях 10^2 – 10^3 Па. То есть модифицированный битум является более устойчивым к разрушению, о чем свидетельствует протяженное плато ньютоновского течения.

Были проведены исследования по влиянию Полидома на свойства асфальтобетона. При этом определялись физико-механические характеристики мелкозернистого асфальтобетона типа В на исходном битуме марки БНД 90/130 и этом же битуме, модифицированном 2 %, 3 % и 4 % Полидома. Результаты испытаний приведены в таблице 1 и на рисунке 10.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики асфальтобетона, модифицированного Полидомом

| Наименование показателей | Физико-механические характеристики полимерасфальтобетона в зависимости от содержания Полидома | | | | |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------------------------------------------|
| | – | 2 % | 3 % | 4 % | 3 % при введении непосредственно в смесь |
| Средняя плотность, кг/м ³ | 2,38 | 2,41 | 2,42 | 2,43 | 2,41 |
| Водонасыщение, % | 2,8 | 2,0 | 1,1 | 1,2 | 1,5 |
| Набухание, % | 0,35 | 0,22 | 0,2 | 0,15 | 0,21 |
| Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре: | | | | | |
| 20 °С | 3,8 | 4,6 | 5,8 | 6,3 | 5,3 |
| 50 °С | 1,6 | 2,1 | 2,8 | 3,0 | 2,5 |
| 0 °С | 10,2 | 9,6 | 9,3 | 9,2 | 9,4 |
| Коэффициент водостойкости | 0,91 | 0,94 | 1,0 | 0,96 | 0,98 |
| Коэффициент длительной водостойкости | 0,72 | 0,81 | 0,86 | 0,88 | 0,84 |

Исследования показали, что при модификации битума 3-4 % Полидома прочность и теплостойкость асфальтобетона увеличивается почти вдвое, что обеспечивает его повышенную сдвигоустойчивость. В соответствии с полученными результатами средняя плотность асфальтобетонов на основе модифицированного битума выше, чем у асфальтобетонов на исходных битумах и возрастает с увеличением содержания модификатора, а водонасыщение, соответственно, снижается.

Асфальтобетон на Полидоме проявляет характерную для всех полимерасфальтобетонов особенность – меньшую температурную чувствительность. Коэффициент температурной чувствительности определялся как отношение прочности асфальтобетона на сжатие при температуре 50 °С к этому же показателю при 0 °С ($K = \frac{R_{50}}{R_0}$). При оптимальном содержании Полидома он увеличился в среднем вдвое, что позволяет прогнозировать повышенную тепло- и трещиностойкость таких полимерасфальтобетонов.

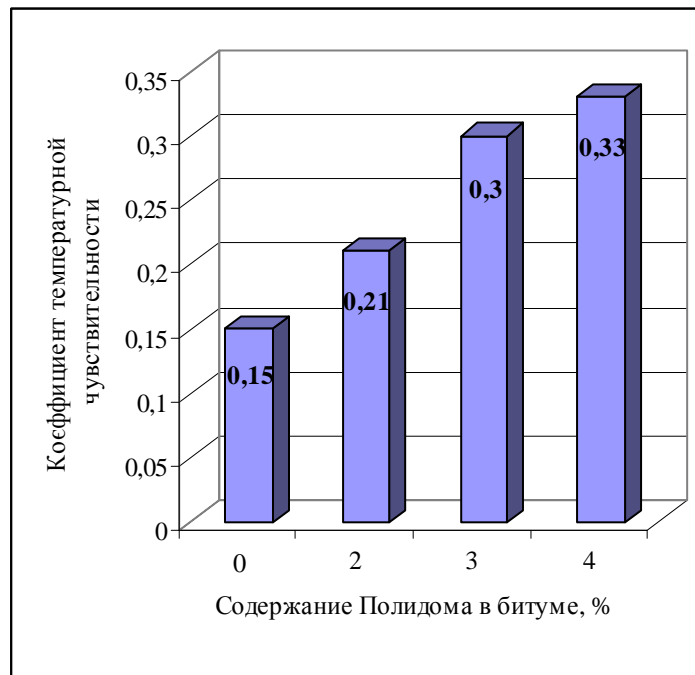


Рис. 10 – Зависимость коэффициента температурной чувствительности от содержания Полидома в битуме

Таким образом, характер изменений стандартных показателей полимерасфальтобетонов на основе Полидома является типичным для полимерасфальтобетонов, полученных с использованием известных полимерных модификаторов.

Были также проведены исследования полимерасфальтобетона, полученного путем непосредственного ввода Полидома в готовую смесь.

Содержание Полимера составило 3 % от массы битума. После введения полимера смесь перемешивалась при температуре 170-180 °С в смесителе в течение 15-20 с. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Анализ результатов испытаний свидетельствует, что характеристики полимерасфальтобетона, приготовленного путем непосредственного введения Полидома в смесь, близки к показателям асфальтобетона на модифицированном битуме.

Это доказывает возможность получения полимерасфальтобетона путем непосредственного введения Полидома в смесь, что позволит упростить технологию и достичь значительной экономии времени и энергоресурсов.

Выполненные исследования позволяют сделать выводы:

1. Битум, модифицированный Полидомом, отвечает требованиям ДСТУ Б В.2.7-135:2007 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови» и его стандартные характеристики типичны для битумов, модифицированных термоэластопластами. При этом среди всех распространенных полимеров Полидом придает битумам наиболее высокую когезионную прочность.

2. Полимерасфальтобетон, содержащий Полидом, имеет более высокие показатели прочности, водо- и теплостойкости по сравнению с обычным асфальтобетоном. Он также характеризуется значительно меньшей температурной чувствительностью и пониженным темпом теплового старения.

3. Доказана возможность упрощенной технологии приготовления полимерасфальтобетонов путем непосредственного введения Полидома в смеситель с последующим перемешиванием смеси при температуре 170 °С в течение 15-20 с.