

В.А.Золотарев

О ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРАМИ

Краткий анализ системы оценки качества битумных вяжущих. Свойства асфальто-и асфальтополимербетонов как систем с коагуляционной структурной определяются главным образом качеством битумных вяжущих. В соответствии с этим показатели качества вяжущих должны быть в максимальной степени объективными, позволяющими прогнозировать прочность, сдвиго-, трещино-, водостойчивость и устойчивость к старению бетонов на их основе.

Традиционные показатели оценки качества битумов в этом отношении являются недостаточно информативными. С учетом этого в США в 1987 году была начата, а к настоящему времени завершена работа по программе SHRP (Strategic Highway Research Program), предусматривающей создание системы Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement), которая включает принципиально новые критерии оценки качества битумных вяжущих и методологию проектирования асфальтобетонов. В системе Superpave для предсказания основных эксплуатационных свойств бетонов использованы фундаментальные реологические характеристики вяжущих [1, 2]. В свою очередь европейский стандарт на вязкие дорожные битумы EN 12591, наряду с традиционными критериями качества, регламентирует необходимость определения устойчивости против старения по методу RTFOT, предусматривающему испытание вяжущего во вращающемся цилиндре с одновременным воздействием воздуха и температуры. Кроме того, этот стандарт допускает использование странами ЕС в качестве критериев оценки качества дорожных битумов: содержание парафинов; динамическую (при 60 °С) и кинематическую (при 135 °С) вязкость; температуру хрупкости. Разработчики европейского стандарта считают его переходным и уже более пяти лет как начали работу по созданию принципиально

нового стандарта, в котором будут использованы и критерии Superpave [3].

Переход на систему оценки качества битумов по таким, называемым функциональным показателям в Украине, представляется проблематичным по различным причинам: организационным (создание сети принципиально новых лабораторий); техническим (приобретение новой сложной техники и привлечение для работы с ней высокопрофессиональных специалистов) и финансовым (высокая стоимость оборудования и большие затраты на оплату труда инженеров-испытателей). Реальная оценка финансовых возможностей дорожной отрасли страны и негативная реакция нефтепереработчиков на любые попытки повысить требования к качеству битумов позволяют предположить, что западноевропейская и/или американская системы оценки качества битума могут быть введены в Украине не раньше, чем она вступит в ЕС.

Еще более сложной является проблема оценки качества битумов, модифицированных полимерами (БМП), которые используются для устройства покрытий дорог высшей категории. В этом случае ошибки в прогнозировании поведения асфальтобетона, обусловленные необъективностью критериев качества БМП, приведут к значительным финансовым потерям и снижению долговечности дорожных одежд. Это связано с тем, что БМП являются более сложными и нестабильными по сравнению с битумами системы. В зависимости от содержания полимера в БМП могут формироваться различные структуры (среда-битум, фаза-полимер; среда-полимер, фаза-битум; смешанная структура переходного типа) [4], что сопровождается принципиальными различиями в свойствах вяжущих. Методы, пригодные для оценки качества обычных битумов, могут оказаться неприемлемыми для оценки качества БМП вообще и разных их структурных типов в частности. Система оценки качества БМП, создаваемая в настоящее время в ЕС, предусматривает, кроме традиционных, определение показателей: когезии (метод VIALIT), предельной прочности и энергии (работы) разрыва при испытании «восьмерок», динамической вязкости. Значительное внимание

уделяется необходимости использования в отношении этих вяжущих критериев Superpave [5].

Нормативные документы на битумы, модифицированные полимерами, действующие в Украине (ТУ У В.2.7-24.1-03450778-198-2002) и России (ГОСТ Р 52056-2003) включают практически все показатели, входящие соответственно в ДСТУ 4044-91 и ГОСТ 22245-90. Специальные требования к БМП в ГОСТ Р 52056-2003 сводятся к необходимости определения эластичности и однородности. Технические условия Украины, кроме этого, нормируют показатели расслоения при хранении.

В сложившейся ситуации представляется целесообразным оценить эффективность предлагаемых на Западе критериев оценки качества БМП и проанализировать прогностические возможности традиционных и некоторых новых показателей качества вяжущих с целью разработки объективно приемлемых для Украины методов испытаний БМП.

Прочностные свойства вяжущих. Важнейшим свойством асфальтобетона является прочность. Для ее предсказания необходимо знать прочность битума. Характеристикой прочности вязкоупругих жидкостей служит когезия, которая может определяться как прочность при сдвиге по схеме плоскость-плоскость или как прочность на растяжение. Введенный в Европейский стандарт на БМП показатель когезии по методу Vialit [5], обычно применяемый для испытаний полимеров, является несовершенным: из-за сложного напряженного состояния в битумном слое (сдвиг с растяжением) при ударе клиновидного маятника; из-за неприемлемого для использования при проектировании составов асфальтобетонов показателя энергии когезии; из-за высокой скорости нагружения, при которой разница в значениях энергии когезии различных по маркам вяжущих достаточна мала. Попытка определить когезионную прочность путем определения прочности на растяжение «восьмерок» [6], также не может быть признана удачной, поскольку схема напряженного состояния не отвечает пленочному состоянию битума в асфальтобетоне и потому, что изменение рабочего сечения деформируемых «восьмерок» не позволяет корректно

определить возникающие в образце напряжения. Оценка когезии по работе деформирования сложна и непродуктивна.

В системе SHRP не предусмотрено испытание вяжущего на прочность при преобладающей температуре окружающего воздуха, близкой к 18-25 °С, что обычно позволяет сравнивать консистенцию битумов, производимых по различным технологиям, из разного сырья в разных странах. Вместо этого нормируется значение $G^*\sin\delta$ (произведение комплексного модуля на синус угла сдвига фаз), определяемое с помощью динамического сдвигового реометра (DSR) при средней между максимальной летней и минимальной зимней температурами для каждой из 37 климатических зон, на которые разбита территория США. Значение показателя $G^*\sin\delta$ после испытания на старение не должно быть больше 5 МПа. Использование этого показателя для прогнозирования прочности асфальтополимербетона является проблематичным.

Разработанный и применяемый в ХАДИ в течение 15 лет метод саморегулирующегося сдвига по схеме плоскость-плоскость (рис.1) позволяет определять когезионную прочность в широком диапазоне скоростей сдвига и температур. По температурным зависимостям когезионной прочности могут быть определены температуры механического стеклования (рис.2) и их зависимость от скорости деформирования. Последние в полной мере отвечают зависимостям температур стеклования от скорости нагрева.

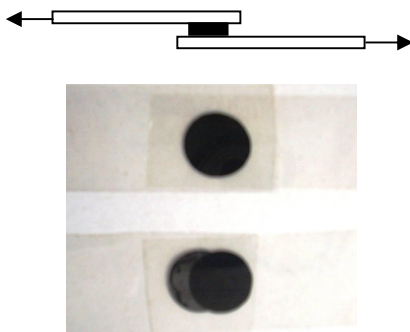


Рисунок 1 - Принципиальная схема определения когезии вяжущего

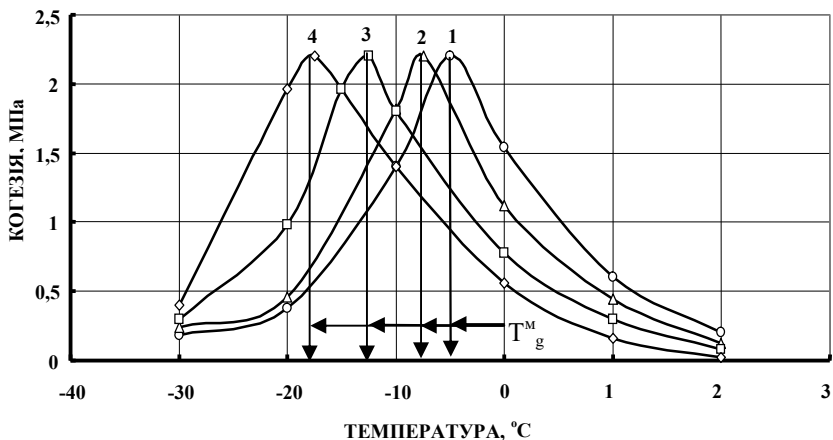


Рисунок 2 - Температурная зависимость когезионной прочности битумов марок: 1 - БНД 40/60; 2 - БНД 60/90; 3 - БНД 91/130; 4 - БНД 200/300

Таким образом, по совокупности признаков критерием оценки консистенции битумов при стандартной и других температурах может служить когезия битумов. Определение когезии по простоте испытания и инструментария, небольшим затратам времени более доступно чем, определение комплексного модуля сдвига и угла механических потерь вяжущего. Тем не менее, этот показатель не может быть рекомендован для практического применения в настоящее время. Этому должно предшествовать накопление данных, стандартизация методов испытания и количественных значений показателей когезии для широкого круга вяжущих.

Анализ схемы напряженного состояния и методики определения глубины проникания иглы свидетельствует о том, что показатель пенетрации является прочностной характеристикой, показывающий сопротивление слоя вяжущего вдавливанию в него индентора [7]. Одним из аргументом в пользу такой интерпретации показателя глубины проникания иглы служит практическое равенство когезии разных битумов (около 2,1 МПа) при температуре, отвечающей пенетрации 31x0,1 мм (табл.1). Эта температура является точкой пересечения зависимостей

пенетрации битумов разных структурных типов от температуры приведения, равной $T_{пр} = T_{исп} - (T_p + T_{хр})/2$, при $T_{пр} = 0$ [8].

Таблица 1 - Взаимосвязь когезии и пенетрации битумов разных марок

Показатели свойств	Индекс битумов				
	1	2	3	4	5
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	54	63	103	155	207
Температура размягчения, °С	54	49	44	42	41
Температура хрупкости, °С	-20	-23	-25	-27	-29
T_{31} , °С (экспериментальная)	19	15	11,5	8,5	5,5
Когезия при T_{31} , МПа	0,2	0,21	0,21	0,22	0,22

Свидетельством прочностной природы пенетрации служит прямолинейная зависимость между пенетрацией и когезией, которая распространяется как на чистые битумы, так и на эти же битумы, модифицированные 3 % полимера СБС (рис.3). Естественно, справедливость такой зависимости для БМП другого структурного типа, с большим содержанием полимера (более 5 %) должна быть дополнительно проверена. Тем не менее, накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что пенетрация может служить достаточно надежной характеристикой прочности (твердости) битумов. Направленное регулирование пенетрации позволяет предсказать прочность асфальтобетона. Это подтверждается взаимосвязью прочности асфальто- и асфальтополимербетонов с когезией БМП (рис.4).

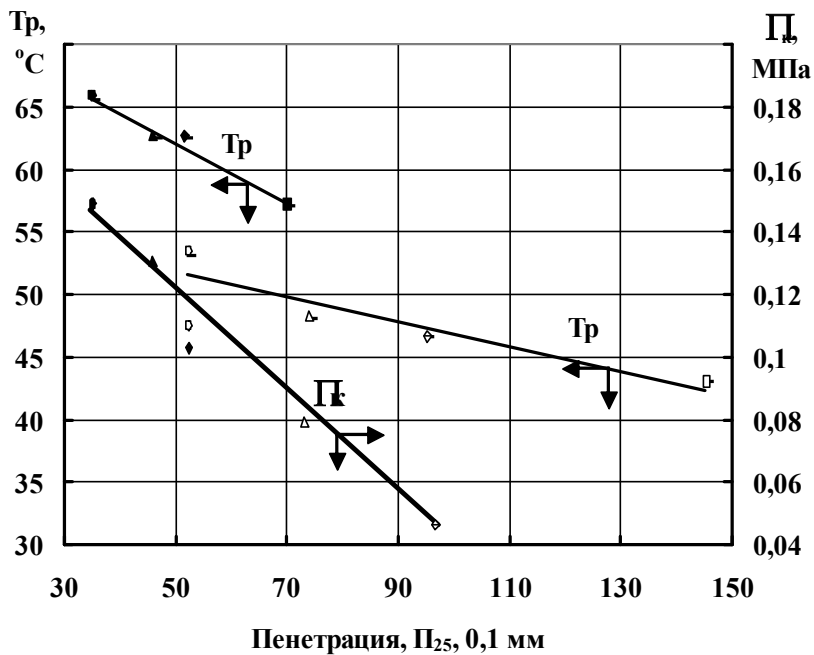


Рисунок 3 - Зависимость между температурой размягчения (T_p), когезией (τ_k) и пенетрацией (P_{25}) исходных битумов (светлые значки) и битумов, модифицированных 3 % СБС (темные значки)

Приведенные выше аргументы и данные, позволяют отказаться от общепринятого толкования пенетрации как условной вязкости. Установление различных математических зависимостей между истинной вязкостью и пенетрацией, является лишь частным случаем, оправдывающимся в отношении битумов с ньютоновским типом течения.

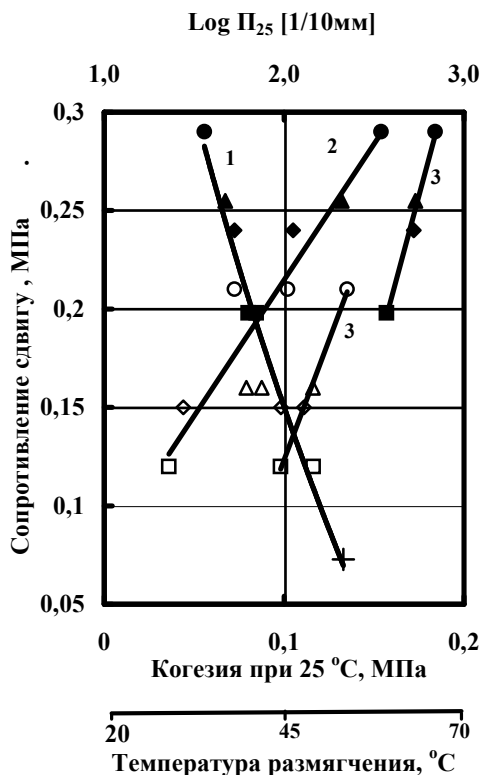


Рисунок 4 - Зависимость сопротивления асфальтобетона сдвигу от: log пенетрации (1); когезии (2); температуры размягчения (3)

Теплостойкость вяжущих. Температуру размягчения битумов (T_p) традиционно используют для прогнозирования устойчивости асфальтобетона против образования на покрытии пластических деформаций. В тоже время эта температура исключена из системы Supergravel, вместо нее рекомендуется отношение $G^*/\sin\delta$, определяемое при максимальной температуре покрытия и равное или превышающее 1,0 кПа до прогрева и равное или превышающее 2,2 кПа после прогрева. В странах ЕС обсуждается возможность применения «нулевой», ньютоновской вязкости, т.е. вязкости, экстраполированной к нулевому напряжению или скорости

деформации. Такой подход не является конструктивным. Предлагается множество формул, описывающих напряженно-силовую зависимость вязкости, использование которых за пределами экспериментальной области приводит существенным погрешностям [9]. Кроме того, включение в нормативные требования значений вязкости, полученных методом экстраполяции, не могут быть корректными в связи с огромным разнообразием реологических особенностей битумов, обусловленных нестабильностью их состава.

Существует несколько причин неточности прогноза сдвигоустойчивости асфальтополимербетонов по температуре размягчения. Во-первых, эта температура является вязкостной, а не прочностной характеристикой процесса течения вяжущего при ползучести с возрастающей температурой. Во-вторых схема напряженного состояния ее определения не моделирует условия работы битумного вяжущего в покрытии. В-третьих, температура размягчения может быть объективной только в том случае, когда глубина проникания иглы, измеренная при этой температуре, равна $800 \times 0,1$ мм, т.е. когда $T_p = T_{800}$.

Это последнее условие является особенно важным, так оно положено в основу определения индекса пенетрации и обеспечивает надежность и сопоставляемость теплостойкости разных битумов. В то же время W.Nekelom'ом [10] было показано, что это условие выполняется только в случае остаточных и малопарафинистых битумов со структурой типа «золь». В отношении окисленных битумов T800 может не совпадать с T_p .

Несоответствие температуры размягчения и T800 битумов и БМП иллюстрируется данными табл.2. Разница значений обсуждаемых температур для чистых битумов невелика и близка к допусκαемым погрешностям испытания. Введение линейного полимера приводит к разнице $T_p - T_{800}$ тем большей, чем выше пенетрация матричного битума и чем больше содержание полимера в системе. Эта разница возрастает с введением в битумы радиального полимера. При равном (3 %) содержании двух полимеров в Мозырском битуме с начальной пенетрацией $174 \times 0,1$ мм и Нижегородском битуме с пенетрацией $134 \times 0,1$ мм разница $T_p - T_{800}$ для БМП с линейным СБС составляет $2,4$ °С а для БМП с радиальным СБС - 15 °С. Дальнейшее увеличение содержания

обоих полимеров сопровождается еще большим расхождением значений T_r - T_{800} .

Использование в качестве критериев теплостойкости вяжущих двух температур приводит к двум разным тенденциям их зависимости от пенетрации. С введением в матричные битумы 6 % полимера пенетрация БМП повышается по мере перехода от высоковязкого битума к маловязкому гудрону (от $34 \times 0,1$ мм до $164 \times 0,1$ мм). В тоже время T_r минуя некоторый минимум (76°C) возрастает, достигая, в случае гудрона 89°C , что противоречит общепринятому для чистых битумов правилу: чем выше пенетрация, тем меньше температура размягчения. Это правило подтверждается, когда в качестве критерия теплостойкости используется T_{800} : с ростом пенетрации исходного вяжущего (от $50 \times 0,1$ мм до $435 \times 0,1$ мм) T_{800} БМП с 6 % СБС закономерно падает от 79°C до 48°C .

Таблица 2 - Влияние содержания и вида полимера на механические свойства БМП

Источ-ник битума	Наимено-вание полимера	Содер-жание поли-мера	Свойства исходных битумов и БМП					
			$P_{25}, \times 0,1$	$T_p, ^\circ\text{C}$	$T_{800}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_p, ^\circ\text{C} - T_{800}, ^\circ\text{C}$	ПП по T_p	ПП по T_{800}
Мозыр-ский НПЗ	СБС Кратон 1101	0,0	435	34,0	29	5,0	2,14	-3,09
		3,0	252	47,4	34	13,4	4,16	-2,10
		6,0	164	89,4	48	41,4	9,56	2,02
		0,0	174	41,3	39	2,3	-0,12	-1,10
		3,0	114	46,4	44	2,4	0,09	-0,71
		6,0	72	79,2	65	14,2	5,27	3,00
		0,0	89	46,4	47	-0,6	-0,72	-0,54
		3,0	67	54,3	52	2,3	0,59	0,03
		6,0	48	76,6	69	7,6	3,74	2,56
		0,0	50	54,9	56	-1,1	-0,05	0,19
		3,0	41	62,8	63	-0,2	1,08	1,12
		6,0	34	84,6	79	5,6	3,95	3,22
Нижнего роднефте орг-синтез	СБС Кратон 1186	0,0	134	41,3	42	-0,7	-1,14	-0,87
		1,5	94	47,0	47	0,0	-0,39	-0,39
		3,0	76	66,0	51	15,0	3,35	0,11
		5,0	59	84,0	66	18,0	5,31	2,60

Приведенные данные о расхождении между значениями T_p и T_{800} для битумов, модифицированных термоэластопластом СБС, распространяются и на термопласт ЕВА (этилен-винил-ацетат). Это подтверждается результатами [11], (табл.3) которые количественно согласуются с данными табл.2 в отношении модификации битума двумя видами СБС.

Таблица 3 - Влияние количества и вида полимеров на значение показателей T_p и T_{800} (по данным [11])

Наименование показателей	Значение показателей для битумов с содержанием полимера в %									
	Б 70/100	ЕВА			СБС - линейный			СБС - радиальный		
		3	5	7	3	5	7	3	5	7
$T_p, ^\circ\text{C}$	44	54	60,7	71,3	58,5	69,2	76,7	63,7	74,2	80,9
$T_{800}, ^\circ\text{C}$	44,1	45,4	52,0	62,5	49,7	52,4	53,2	47,4	50,9	52,7
$T_p - T_{800}, ^\circ\text{C}$	-0,1	8,6	8,7	8,8	8,8	16,8	23,5	16,3	23,3	28,7

Ненадежность использования температуры размягчения для прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтополимербетонов подтверждается отсутствием единой обобщенной зависимости, описывающей взаимосвязь между температурой размягчения и пенетрацией или когезией битумов и БМП (рис. 3). Качественно подобные результаты наблюдаются и в случае зависимости сопротивления асфальтобетона сдвигу от температуры размягчения вяжущего (рис.4). В тоже время зависимости сопротивления асфальтобетона сдвигу от пенетрации и когезии, также как и пенетрации вяжущих от когезии (рис. 3, 4) являются общими для асфальто- и асфальтополимербетонов и битумов и БМП. О неправомочности применения T_p для прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтополимербетонов свидетельствуют результаты определения сопротивления сдвигу асфальтобетона на основе битума с пенетрацией 145x0,1 мм и температурой размягчения 41 °С и асфальтополимербетона на модифицированном вяжущем с пенетрацией 218x0,1 мм и температурой размягчения 90 °С. Сопротивление сдвигу последнего составило 0,076 МПа, тогда как асфальтобетона -

0,13 МПа. Сопротивление сдвигу асфальтобетона на битуме с пенетрацией 53x0,1 мм и $T_p=53^{\circ}\text{C}$ было равно 0,21 МПа.

В работах [10, 11], как и во многих других работах западных исследователей, приводятся линейные зависимости между модулем упругости и пенетрацией. В связи с этим в [11] предлагается использовать модуль упругости битумов, в качестве критерия теплоустойкости БМБ. Однако именно существование четкой взаимосвязи между пенетрацией вяжущих с одной стороны и модулями упругости, а также когезией с другой позволяет обоснованно утверждать, что критерием теплоустойчивости БМП может служить температура, отвечающая пенетрации 800x0,1 мм. Это согласуется с выводами [10] и позицией французских исследователей, рассчитывающих индекс пенетрации по температурной зависимости пенетрации [6].

Трещиностойкость битумных вяжущих в стандартах Украины, России и стран ЕС нормируется по показателю температуры хрупкости Фраасса. Этот показатель и метод подвергается критике в связи с несоответствием схемы напряженного состояния и скорости охлаждения условиям работы асфальтобетона в покрытии, сложностью распознавания и часто отсутствием магистральной трещины на поверхности вяжущего.

С учетом этого система Superpave предлагает два критерия трещиностойкости. Первый - это температура, отвечающая жесткости вяжущего 300 МПа. Она определяется с помощью так называемого VBR реометра, расчетная схема которого подразумевает изгиб при ползучести под постоянной центрально приложенной нагрузкой (980 мН) битумной балки. По полученным при разных температурах значениям жесткости строится температурная зависимость жесткости и определяется температура, при которой жесткость достигает значения 300 МПа. Недостатками этого метода являются: необходимость использовать графическую экстраполяцию; сложность работы с битумными балками 6,25x12,5x125 мм, особенно в случае вяжущих с высокой пенетрацией; неидентичность уровней напряженного состояния одного и того же вяжущего при разных температурах и разных битумов при одинаковых температурах; возможность течения в балках под собственным весом. Многочисленные экспертные проверки этого метода, выполненные в Европе за последние 10 лет,

так и не дали однозначного ответа на вопрос об объективности предлагаемых метода и критерия.

Вторым, включенным в Supergrave критерием, является температура, отвечающая относительной деформации разрушения при растяжении образца-гантели равной 1 %. Использование этого физически оправданного критерия, сопряжено с техническими трудностями, одной из которых является необходимость использования сложного оборудования: лазерных микрометров для установления малых (около 2 мкм) деформаций разрушения; разрывных машин, обеспечивающих измерение усилий с погрешностью не более $\pm 0,1$ Н и термостатов, стабилизирующих температуру с точностью $\pm 0,1$ °С. Отсутствие простых и надежных критериев трещиностойкости битумных вяжущих приводит к заключению о целесообразности включения в ДСТУ 2044-2001 и дальнейшего применения, вплоть до разработки нового критерия, показателя температуры хрупкости по Фраассу.

Сцепление вяжущего с подложкой в воде. Для оценки адгезионной активности вяжущего, дающей представление о его способности противостоять отслаивающему действию воды, и соответственно водостойчивости асфальтобетонов используется множество методов. Часто такая оценка основывается на визуальном определении поверхности пленки битума, оставшегося на адсорбенте после нормированного выдерживания его в воде. В России для этой цели используется метод кипячения зерен мрамора, покрытых испытуемым вяжущим, с последующей органолептической оценкой сцепления. Показатель адгезионной активности вяжущего в систему Supergrave и европейский стандарт на битумы и БМП не включен. Разработчики SHRP считают, что сцепление битума с поверхностью каменных материалов обусловлено адгезионной способностью последних. Такой подход является односторонним, поскольку роль адгезионной активности вяжущих в обеспечении водостойчивости асфальтобетона достаточно хорошо изучена. Необходимость нормирования сцепления вяжущего с подложкой в водной среде особенно важна в условиях нестабильности сырьевой базы и технологических режимов производства битумов, характерных для отечественной нефтепереработки. В связи с этим введение в действие метода определения показателя сцепления битума с поверхностью стекла и каменных материалов (ДСТУ Б В.2.7-81-98) и запланированное включение в ДСТУ 4044-2001 количественных значений этого

показателя, выгодно отличает ДСТУ 4044-2001 от стандартов США, ЕС и России. Простота метода, возможность количественной оценки сцепления, сопоставимость получаемых данных - все это позволяет объективно оценить адгезионную активность подложки, вяжущего и поверхностно-активных добавок.

Влияние модификации битумов полимерами на их сцепление с подложкой в водной среде к настоящему времени остается практически неизученным. Выполненные в последнее время кафедрой ТДСМ ХНАДУ исследования показывают, что практически все полимеры (стирол-бутадиен-стирол-СБС; катионный латекс, этилен-глицедил-акрилат-ЭЛВ), используемые в Украине, приводят к повышению сцепления вяжущего с подложкой (табл. 4). Однако это повышение незначительно (кроме случаев латексов, содержащих ПАВ), поэтому использование ПАВ в битумополимерных вяжущих не только желательно но и необходимо (табл. 4). Именно использование ПАВ в БМП переводит последнее в супервяжущее, которое обеспечивает высокую сдвигоустойчивость, повышенную трещиностойкость и водоустойчивость асфальтобетонов. Естественно, стоимость таких вяжущих достаточно высока, но повышенные затраты оправдываются удлинением межремонтных сроков службы асфальтобетонных покрытий и сокращением расходов на эксплуатацию, что особенно важно для дорог высших категорий.

Таблица 4 - Влияние добавок полимеров и ПАВ на сцепление вяжущего с твердой подложкой и длительную водоустойчивость асфальтобетона

Состав вяжущего	Свойства вяжущего				Водоустойчивость асфальтобетона		
	П ₂₅ , 0,1 мм	Тр, °С	Э ₂₅ , %	С, %	Через 15 суток K_{15}^b	Через 30 суток	Водона- сыще- ние, % K_{30}^B
Битум БНД 130/200	197	41		16	0,79	0,74	8,4
130/200 +3 % СБС	122	48	83	27	0,84	0,79	7,9
130/200 + 3,5 % КЛТ	124	47	75	68	0,84	0,79	8,1
130/200 + 17 % ЭЛВ	143	48	43	22	0,85	0,80	6,5

Состав вяжущего	Свойства вяжущего				Водоустойчивость асфальтобетона		
	П ₂₅ , 0,1 мм	Тр, °С	Э ₂₅ , %	С, %	Через 15 суток K_{15}^b	Через 30 суток	Водона- сыще- ние, % K_{30}^B
130/200 +3 % СБС+0,7 ПАВ	122	48	80	90	0,88	0,84	7,3
130/200+3,5 % КЛТ+0,7 ПАВ		47		99	0,87	0,83	7,5
130/200+1,7 % ЭЛВ+0,7 ПАВ	144	47	43	99	0,89	0,85	6,2
Битум 90/130	110	46		17	0,77	0,72	7,8
90/130 +3 % СБС	61	52		25	0,82	0,77	7,3
90/130 + 3,5 % КЛТ	64	54	68	65	0,81	0,76	7,5
90/130 + 1,7 % ЭЛВ	75	52	31	28	0,82	0,77	7,1
90/130 +3 % СБС+0,7 ПАВ		51		98	0,85	0,81	6,9
90/130 +3,5 % КЛТ + 0,7 ПАВ	69	52	65	99	0,84	0,79	7,3
90/130 +1,7 % ЭЛВ +0,7 ПАВ	67	52	47	99	0,85	0,81	6,7

Старение вяжущего является причиной преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий за счет усадочных напряжений, охрупчивания битума и асфальтобетона, перехода покрытия в хрупкое состояние. Старение вяжущего проходит две стадии - технологическую и эксплуатационную. В соответствии с этим система Supergravel предусматривает два вида испытаний. Технологическое старение определяется по изменению свойств вяжущего после его испытания при нормированной температуре во вращающемся цилиндрическом сосуде, через который продувается прогретый воздух. Прошедшее воздушно-тепловую обработку вяжущее испытывают для установления значения $G^* \sin \delta$, которое не может быть меньше 2,2 кПа при максимальной проектной температуре для каждой зоны дорожно-климатической зоны США (от 46 до 82 °С). Принципиально такой же метод испытания RTFOT (EN 12607-1) рекомендован европейским стандартом EN 12591. Степень старения, согласно европейскому стандарту определяется по изменению массы и пенетрации, а кроме того по изменению одного или группы показателей: температуры размягчения; температуры размягчения и хрупкости; температуры размягчения и

индекса пенетрации. Проект европейского стандарта на модифицированные битумы требует их проверки на старение после воздушно-тепловой методом RTFOT по степени изменения массы, пенетрации и температуры размягчения.

Второе испытание по системе Superpave, предназначенное для имитации долговременного старения в условиях эксплуатации, предполагает термостатирование образцов при температуре 90, 100 или 110 °С в течение 20 часов под давлением 2070 кПа. Обработанные таким образом образцы подвергаются испытанию для определения: $G^* \sin \delta$, которое не должно превышать 5000 кПа при средней для каждой зоны температуре испытания (от 4 до 37 °С); жесткости при ползучести, которая для каждой зоны при минимальной проектной температуре покрытия (от 0 до минус 36 °С); должна быть меньше 300 МПа; деформации разрушения, которая не должна превышать 1 % при минимальной для каждой зоны температуре покрытия (от 0 до минус 36 °С).

Прогнозирование устойчивости при старении вяжущих, в том числе и БМП, в Украине осуществляется по изменению массы, пенетрации, температуры размягчения (ДСТУ 4044-2001), а в России только по изменению температуры размягчения (ГОСТ Р 52056-2003) после прогрева тонкой пленки битума в течение 5 часов при температуре 163 °С. Этот метод устарел по отношению к битумам и полностью непригоден для оценки старения БМП из-за: расслоения БМП в процессе термостатирования; невозможности приготовления однородной пробы для испытаний; несоответствия условий испытания ни технологическому, ни эксплуатационному старению. В связи с этим в Украине целесообразно стандартизовать метод RTFOT старения вяжущих во вращающихся продуваемых воздухом сосудах и организовать изготовление необходимого для этого испытания оборудования.

Стабильность при хранении. Принципиальным технологическим отличием битумов, модифицированных полимерами, по сравнению с обычными битумами является склонность к расслаиванию при хранении, обусловленная разной плотностью полимер-углеводородной и смолисто-асфальтовой фаз БМП, их несовместимостью, избирательной растворимостью полимеров в углеводородах битума, температурными режимами

нагрева и охлаждения. Образующиеся после расслаивания фазы существенно различаются по показателям технических свойств (табл.5).

Таблица 5 - Влияние прогрева на изменение свойств БМП в верхнем и нижнем слоях цилиндрического сосуда

Вид и количество полимера в вязущем	Показатели					
	Пенетрация при 25 °С, 1/10 мм		Температура размягчения, °С		Эластичность при 25 °С, %	
	Верх	Низ	Верх	Низ	Верх	Низ
1,5 % ДСТ-30-01	83	81	49	49,2	55	57
3,0 % ДСТ-30-01	108	55	>91	50,9	100	48
5,0 ДСТ-30-01	126	38	99	60,0	99	52
3 % ДСТ-30Р-01	130	67	>80	45,8	100	42
3 % Кратон ¹⁾ Д-1101	81	82	48,0	48	59	56
1,5 % Кратон ²⁾ Д-1101	94	91	47	46	68	55
3,0 Кратон ²⁾ Д-1101	83	79	51	50	72	68
5,0 % Кратон ²⁾ Д-1101	130	45	94	58	99	57
1,5 % Кратон Д-1186	98	83	66	47	98	47
3,0 % Кратон Д-1186	108	62	107	51	99	52
5,0 % Кратон Д-1186	103	41	113	72	98	43
2 % Элвалой АМ	90	83	56	57	68	72
4 % Бутонал NS 198	75	61	54,5	49,5	77	47

Большее расслоение при хранении присуще БМП с большим содержанием полимера; содержащих СБС с радикальной структурой; с равным содержанием полимера на битумах большей вязкости (табл.6). Для обеспечения качества БМП на технологических стадиях его применения их стабильность при хранении должна быть нормирована. Предлагаемый для включения в стандарт на БМП метод, является адаптированным к

отечественным условиям и стандартизованный в ЕС метод рR EN 13399 (2003). Отличие украинского варианта от европейского состоит в том, что термостатирование испытуемых образцов осуществляется в течение 24 часов, вместо принятых в ЕС 75 часов. Такое изменение основано на том, что практически 90 % изменений свойств БМП приходится на первые 24 часа их термостатирования.

Таблица 6

Исходный Мозырский битум	Пенетрация при 25 °С, 1/10 мм		Температура размягчения, °С		Эластичность при 25 °С, %	
	Верх	Низ	Верх	Низ	Верх	Низ
Гудрон	244	258	48	47	95	94
БНД 90/130	125	109	49	46	80	58
БНД 60/90	72	53	58	54	93	47
БНД 40/60	51	32	77	64	94	60

Эластичность является принципиальным механическим свойством БМП, отличающим их от традиционных битумов. Эластичность чистых битумов не превышает 10...15 %. Введение даже 1,5 % термоэластопласта повышает эластичность битумополимеров до 30-50 %. При содержании термоэластопласта в битуме, равном 3 %, эластичность вяжущего увеличивается до 75-90 %. При этом большая эластичность соответствует битумополимерам на основе битумов (табл.7) с меньшей когезией и большей пенетрацией. Таким образом, подтверждается установленное для эластичных полимеров правило, заключающееся в том, что с ростом твердости полимеров их эластичность снижается.

Проявление битумным вяжущим эластичности является бесспорным признаком содержания в нем термоэластопласта и следствием формирования в вяжущем вначале сопряженной асфальтено-полимерной сетки, а затем, при повышенном содержании полимера, матричной полимерной сетки, характерной

для структур, в которых средой является полимер, а фазой битум. Тем не менее, в настоящее время трудно найти экспериментальные факты, которые свидетельствовали бы о непосредственной связи эластичности с другими механическими свойствами БМП, по крайней мере, содержащими не более 3...3,5 % термоэластопласта. Более того, высокоэластичные БМП на основе маловязких или пластифицированных битумов, обладая почти полной эластичностью, могут иметь меньшую прочность при сдвиге; чем высококогезионные неэластичные битумы. Это связано с низкими модулями сдвига и прочностью полимеров в эластическом состоянии.

Таблица 7 - Свойства битумополимерных вяжущих на основе битумов разной марочной вязкости

Наименование показателей свойств	Значения показателей для битумов и БПВ							
	40/60	40/60 БПВ	60/90	60/90 БПВ	90/130	90/130 БПВ	130/200	130/200 БПВ
Пенетрация, 01 мм при 25 °С 0 °	53	36	75	47	96	53	145	70
	26	20	25	26	33	27	41	34
Температура размягчения, °С	53	66	49	63	47	63	43	59
Температура хрупкости, °С	-17	-17	-19	-20	-21	-21	-23	-24
Растяжимость, см 25 °С	20	21	42	38	68	69	67	84
Эластичность при 25°С, %		79		82		86		93
Когезия при 25 °С, МПа	0,102	0,154	0,079	0,132	0,044	0,105	0,036	0,080

Эластическая сетка битумов, модифицированных большим (>5 %) количеством термоэластопласта, обеспечивает понижение температуры хрупкости БМП. Кроме того, надо полагать, что эластичность должна благоприятно сказаться на циклической усталости асфальтополимербетонов при умеренных и низких

отрицательных температурах. Однако в отсутствие экспериментальных данных трудно судить о том, при каком содержании полимера, при каких температурах и в какой мере эластичность будет повышать усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий. В связи с этим требования к эластичности в нормативных документах стран ЕС, Украины и России носит неосознанный характер. При этом в стандартах странах ЕС, где содержание СБС в БМП может достигать до 7-8 %, требования к эластичности при 25 °С существенно ниже (больше 50 % для БМП с пенетрацией 40...100х0,1 мм), чем в стандарте России (больше 80 % для БМП с пенетрацией 40...90х0,1 мм) и в ТУ Украины (>60 % для БМП с пенетрацией 40..90х0,1 мм). В тоже время нормирование эластичности, как отличительного признака БМП, является необходимым.

Заключение

Разработка системы оценки качества БМП в Украине должна осуществляться в два этапа.

На первом этапе в нее должны входить показатели, включенные в европейский стандарт на БМП, а также разработанные в Украине показатели объективно характеризующие свойства БМП. В соответствии с этим: прочностные (когезионные) свойства вяжущих определяются глубиной проникания иглы; теплостойкость - температурой, отвечающей пенетрации 800х0,1 мм; трещиностойкость - температурой хрупкости по Фраасу; водоустойчивость - процентной долей вяжущего, оставшегося на подложке после испытания по методу ХАДИ (ДСТУ Б В.2.7-81-98); устойчивость против старения - по степени изменения массы, эквивалентной температуре и пенетрации после воздушно-тепловой обработки по методу RTFOT (EN 12607-1); стабильность при хранении - по разнице пенетрации и температуры размягчения после испытания в соответствии с адаптированным к отечественным условиям стандартом ЕС (EN 13399); эластичность - по величине обратимой деформации, определяемой в соответствии со стандартом ЕС (EN 13398); устойчивость против воспламенения по температуре вспышки в открытом тигле согласно стандарта ЕС (EN ISO 2592).

На втором этапе система оценки качества БМП должна быть дополнена более совершенными показателями их когезионной прочности и трещиностойкости, разработанными в Украине или применяемыми в странах ЕС.

Литература

1. Anderson D. Programme SHRP. Methodes d'essai et specification des liants //RGRA. - 1991. - № 714. - P. 48-51

2. Технические условия и методы испытаний вяжущих, классифицированных по эксплуатационным характеристикам покрытий. (Перевод с английского Б.С.Радовского. Asphalt Institute, inc. -USA. -2003. -60с.

3. Ставьярскі А. Проблеми та перспективи європейської стандартизації у галузі бітумних в'язучих // Автошляховик України. -2001. № 1. с.46-48.

4. Золотарев В.А. О трех структурных типах битумов, модифицированных блоксополимерами типа СБС // Вестник БГТУ. - 2005. № 9. -с.353-354.

5. Жамуа Д. Европейские стандарты на битумы, модифицированные полимерами //Автошляховик Украины. - 2004. № -2. с.34-36.

6. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / Под.общей ред.В.А.Золотарева, В.И.Братчуна - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. -229с.

7. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. - М.: Химия, 1978. - 336с.

8. Золотарев В.А. Обобщенные температурно-пенетрационные зависимости дорожных битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. -2000. -№ 1. -с.24-26.

9. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. - Москва: Химия, 1977. -438с.

10. Heukelom W. Une methode amelioree de la caracterisation des bitumes par leurs propriete mecaniques // Bull. Liaison Labo. P. et Ch. - 1975. - № 76. - P. 55-64

11. Molenaar J.M.M., Hagos E.T., Van der Ven M.F.C. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen // Proceeding 3rd Euroasphalt - Eurobitume Congress Paper Technical session 5-8. Vienna. 2004. - P.2080 - 2091.