

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 665.775:66-963

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.83.0.5

БИТУМЫ МАЛОЙ ПЕНЕТРАЦИИ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СТИРОЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛОМ

Галкин А.В., Пыриг Я.И., ХНАДУ

*Аннотация.* Приведены результаты исследования трёх битумов разных структурных типов и близкой пенетрации как основы получения модифицированных полимером битумов для асфальтобетонов с высоким модулем упругости. Выполнена оценка теплостойкости модифицированных полимером СБС битумов в зоне инверсии фаз, и определена их стабильность при хранении.

*Ключевые слова:* битум, модифицированный полимером, температурная чувствительность, стабильность, пенетрация.

**Введение**

В 60-х годах прошлого века во Франции была начата разработка концепции асфальтобетонов с повышенным модулем упругости (ЕМЕ) как нижнего слоя асфальтобетонного покрытия [1]. Разработки, прерванные нефтяным кризисом 70-х годов, были возобновлены в 80-х и, получив широкую популярность, применены и в других странах (Англия, Австралия, Южная Африка) [2]. К тому времени стало очевидным, что более перспективным является устройство поверхности покрытия из слоя асфальтобетона, обладающего высокой жёсткостью, что позволяет снизить истираемость, избежать колееобразования, уменьшить суммарную толщину слоёв дорожной одежды за счёт распределения нагрузки верхним слоем покрытия на большую площадь.

Для обеспечения высоких модулей упругости асфальтобетона используется вяжущее с пенетрацией от  $10 \times 0,1$  мм до  $30 \times 0,1$  мм. При этом для стран с континентальным и резко континентальным климатом (стабильно высокая температура летом и стабильно низкая зимой) проявляется проблема трещиностойкости покрытия, обусловленная значительным перепадом температур. Для того чтобы обеспечить меньшую температурную чувствительность асфальтобетона, вяжущее, применяемое при его производстве, должно обладать расширенным интервалом пластичности – разницей между температурой размягчения и температурой хрупкости, определяющей температурный диапазон работоспособности материала.

Решением является использование битумов "мультиград", или модификация применяемых дорожных битумов добавками (в основном полимером), что способно существенно расширить интервал пластичности вяжущего.

**Анализ публикаций**

Технологии модификации битума полимером позволяют создавать вяжущие с существенно расширенными интервалами пластичности. Использование таких вяжущих подразумевается в более сложных климатических условиях (система SHRP Supergrape) [3]. При этом для модификации преимущественно использовать битумы высокой пенетрации – это позволяет больше изменить свойства вяжущего при равном содержании полимера (с сохранением температуры хрупкости, присущей исходному битуму), обеспечить большую совместимость полимера с битумом и более высокую стабильность полученного вяжущего при хранении при технологических температурах [4].

Обратная ситуация наблюдается при применении битумов малой пенетрации (БНД 40/60), необходимых для получения битумов, модифицированных полимером (БМП) для асфальтобетонов с повышенной жёсткостью с пенетрацией  $10 - 30 \times 0,1$  мм. В этом случае температура хрупкости вяжущего может быть снижена только введением высоких концентраций полимера, приводящих к явлению инверсии полимерной и битумной фазы БМП на микроуровне [5].

При широко используемой концентрации полимера типа СБС в 3 % полимер, пластифицированный битумными маслами, находится в виде отдельной фазы, диспергированной в битумной среде. Это обеспечивает повышение температуры размягчения на 15–20 °С, но практически не изменяет температуру хрупкости БМП. При этом наблюдаемый рост температуры размягчения мало связан с колебательностью асфальтобетона при высоких температурах [6], что не позволяет заменить битумы БМП большей пенетрации, ориентируясь на их высокую теплостойкость, – более объективным показателем теплостойкости БМП является температура, при которой пенетрация вяжущего составляет  $800 \times 0,1$  мм ( $T_{800}$ ).

Увеличение концентрации полимера типа СБС приводит к возрастанию объёма полимерной фазы и превращению её в среду (инверсия фаз), непрерывную в объёме образца. В результате температура хрупкости, которая до этого изменялась несущественно, при переходе БМП через инверсию фаз начинает интенсивно снижаться.

#### Цель и постановка задачи

Нахождение концентрации полимера, при которой происходит инверсия фаз, является важным аспектом проектирования свойств БМП малой пенетрации для асфальтобетонов с повышенным модулем жёсткости. Битумы равной пенетрации, но разного структурного типа обладают разным групповым составом, что, вместе с различиями в химическом составе масел, может приводить к сложностям прогнозирования концентрации полимера, обеспечивающей инверсию фаз БМП.

Целью данной работы было оценить эффективность получения вяжущего малой пенетрации модификацией вязких битумов разного структурного типа, произведенных по разной технологии в различных странах.

#### Объекты исследования

Для анализа были выбраны битумы, окисленные из одного сырья, производства Беларусь (Мозырь) с пенетрацией  $89 \times 0,1$  мм (Бм1) и  $50 \times 0,1$  мм (Бм2), битум остаточный, производства Ирак, с пенетрацией  $48 \times 0,1$  мм (Би), и окисленный в лаборатории из отечественного гудрона до пенетрации  $48 \times 0,1$  мм (Бо).

В качестве полимера использован термоэластопласт СБС Кратон в концентрации 3, 6

и 9 % для битумов Бм; 3, 4 и 5 % для битумов Би и Бо. Модификация осуществлялась в лабораторной мешалке при скорости вращения винта 1000 об/мин, температуре 180 °С в течение 1,5–2 ч (до прохождения пробой проверки на однородность, согласно п. 9.2 ДСТУ Б В.2.7-135:2014 [7]).

#### Характеристики исходных битумов

Анализ свойств исходных битумов позволяет при равной пенетрации отнести их к разным структурным типам (табл. 1). Битум Би, полученный вакуумной дистилляцией, является ярко выраженным типом «золь» с индексом пенетрации менее -1 (-1,44) и коэффициентом стандартных свойств менее 0,07. Битумы Бм1 и Бм2 относятся к промежуточному типу «золь-гель», характерному для большинства используемых в Украине окисленных битумов – их индексы пенетрации составляют -0,66 и -0,05 соответственно. В то же время битум Бо, полученный окислением, по индексу пенетрации относится к промежуточному типу «золь-гель», но коэффициент стандартных свойств (0,56) относит этот битум к типу «гель».

Таблица 1 – Свойства исходных битумов

Показатель	Бм1	Бм2	Бо	Би
Пенетрация при 25 °С, $\times 0,1$ мм	89	50	48	48
Температура размягчения ( $T_{\text{киш}}$ ), °С	46,4	54,9	57,1	49,4
Температура, при которой пенетрация равна $800 \times 0,1$ мм ( $T_{800}$ ), °С	47	56	58,5	47
Температура хрупкости, °С	-17	-14	-18	-7,5
Растяжимость (дуктильность) при 25 °С, см	>100	55	16	>100
Индекс пенетрации	-0,66	-0,05	0,33	-1,44
Коэффициент стандартных свойств	<0,08	0,15	0,56	<0,07
Изменение свойств после 5 часов старения при 163 °С	Потеря массы после прогрева, %			-1,19
	Остаточная пенетрация, %			85,4
	Изменение температуры размягчения, °С			6,2

Различия структурно-реологического типа обуславливают больший интервал пластичности битума Бо и, соответственно, более низкую температуру хрупкости (-18 °С для Бо против -7,5 °С для Би). При этом если

дистилляционный битум Би демонстрирует растяжимость свыше 100 см, окисленный битум Бо не удовлетворяет требованиям ДСТУ по этому показателю – его дуктильность составляет 16 см, что намного ниже минимально допустимого значения в 45 см для марки БНД 40/60. Битум Бм2, обладающий структурным типом «золь-гель» и близкой пенетрацией, по всем остальным характеристикам находится между указанными битумами. Для битума Бм1, как для менее вязкого битума, характерные температуры смещаются в сторону меньших значений. При этом ему присуща температура размягчения  $T_{800}$  дистилляционного битума Би (47 °С) при температуре хрупкости битума окисленного Бо (-17; -18 °С).

Для битумов типа «гель» характерно интенсивное старение за счёт испарения лёгких фракций. Исследованный битум Бо при испытании на старение показал набор массы, возможно за счёт продолжающегося окисления, компенсировавшего потерю массы при испарении масел. Изменения пенетрации были близки у обоих битумов, в то же время прирост температуры размягчения проходил более интенсивно для окисленного битума (почти в 2,5 раза).

Исходя из полученных данных, битум Бо не может быть использован для приготовления асфальтобетона, но может рассматриваться как сырьё для получения модифицированного битума.

### Нахождение области инверсии фаз для битумов, модифицированных полимером

Модификация битумов полимером привела к закономерному изменению общих характеристик – падению пенетрации, росту температуры размягчения, проявлению эластичности (табл. 2).

Таблица 2 – Свойства битумов, модифицированных полимером СБС

Исходное вяжущее	Содержание СБС 1101, %	$P_{25}$ , 0,1 мм	$T_p$ , °С	$T_{ХР}$ , °С	$D_{25}$ , см	$\Theta_{25}$ , %	$T_{800}$ , °С	tg $\alpha$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бм1	0	89	46,6	-18	100	-	47	0,042
	3	67	54,3	-15	46	70	55	0,036
	6	48	76,6	-26	61	100	69	0,028
	9	35	103,2	-42	88	98		
Бм2	0	50	54,9	-14	55	-	56	0,038
	3	41	62,8	-13	18	67,5	65	0,031

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6	34	84,6	-	41	88	79	0,025
Бо	9	24	100,6	<-45	>85	93		
	0	48	57,1	-18	16	-	58,5	0,034
	3	34	71,6	-18	11,9	71,4	75,5	0,026
	4	30	76,6	-18	13,1	83,2	85,0	0,023
	5	24	83,5	<-32	17	84,6	92,5	0,022
Би	0	48	49,4	-7,5	>100	-	47,0	0,055
	3	36	53,6	-7,5	81	55,1	51,0	0,052
	4	33	57,4	-9	>100	87	52,0	0,056
	5	28	77,5	-26	84,7	93,5	53,5	0,046

Интенсивность изменения свойств БМП с увеличением концентрации полимера во многом обусловлена изменениями его морфологии. Согласно [5] при приближении к зоне инверсии фаз температура размягчения изменяется в наибольшей степени, эластичность достигает значения, близкого к максимальному, и начинает снижаться температура хрупкости БМП. Свойства всех исследованных БМП указывают на концентрацию полимера в 5 % как отвечающую инверсии фаз. При этой концентрации температура хрупкости БМП на вязких битумах снижается до уровня, приемлемого для всех марок дорожных битумов БНД (рис.1). Пенетрация при 5 % полимера для трёх битумов близкой пенетрации находится в диапазоне 24–28  $\times 0,1$  мм, что переводит их в класс вяжущих, которые можно использовать для получения высоко модульных асфальтобетонов.

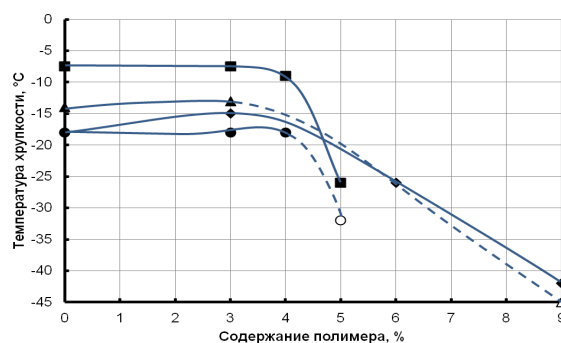


Рис. 1. Изменение температуры хрупкости БМП при повышении концентрации полимера типа СБС при использовании битумов:  $\blacklozenge$  – Бм1,  $\blacktriangle$  – Бм2,  $\blacksquare$  – Бо,  $\bullet$  – Би; светлыми маркерами показаны пределы, ниже которых находится температура хрупкости соответствующего вяжущего

В то же время для битума Бм1 с пенетрацией 89  $\times 0,1$  мм введение полимера в количестве 9 % не привело к изменению пенетрации до значения 30  $\times 0,1$  мм (35  $\times 0,1$  мм).

Исходя из этого, использование битумов БНД 60/90 для получения БМП с заданными характеристиками может быть необоснованным.

Согласно полученным данным можно предполагать, что чем выше вязкость исходного битума, тем резче снижается температура хрупкости при инверсии фаз. Так, модификация битума с пенетрацией  $89 \times 0,1$  мм 6 % полимера снижает его температуру хрупкости на  $8^\circ\text{C}$ , в то время как модификация 5 % полимера битумов остаточного (Би) и окисленного (Бо), обладающих пенетрацией в  $48 \times 0,1$  мм снижает температуру хрупкости на  $18,5^\circ\text{C}$  и больше чем на  $14^\circ\text{C}$  соответственно. При этом для близкого к типу гель битума окисленного, изначально обладающего температурой хрупкости  $-18^\circ\text{C}$ , температура хрупкости после модификации 5 % СБС ниже  $-32^\circ\text{C}$ , в то время как для битума дистилляционного типа «золь», при исходной температуре хрупкости  $-7,5^\circ\text{C}$ , модификация понижает её только до  $-26^\circ\text{C}$ .

Температура размягчения, определяемая методом Кольца и Шара, при инверсии фаз находится в диапазоне от  $77^\circ\text{C}$  до  $85^\circ\text{C}$ , что должно гарантировать колеестойкость асфальтобетон на этих БМП. Но при детальном анализе, с использованием температуры, при которой пенетрация равна  $800 \times 0,1$  мм, теплостойкость дистилляционного битума оказывается существенно меньше.

Для окисленных битумов равной пенетрации типа «гель» и «золь-гель»  $T_{800}$  составляет  $90^\circ\text{C}$  (Бо+5 % СБС) и  $79^\circ\text{C}$  (Бм2 + 6 % СБС) соответственно. Для битума золь, при том, что резкое снижение температуры хрупкости указывает на инверсию фаз,  $T_{800}$  составляет всего  $53,5^\circ\text{C}$ . При тесной корреляции показателя  $T_{800}$  с колеестойкостью асфальтобетона (в отличие от  $T_{\text{КШ}}$ ) [6] такое значение температуры размягчения БМП является свидетельством вероятного отсутствия теплостойкости асфальтобетона на подобном вяжущем.

Различие реакции исследованных битумов на модификацию полимером даёт возможность оценить эффективность модификации, что возможно при более детальном анализе динамики изменения теплостойкости с введением полимера по температурной чувствительности вяжущего.

Температурную чувствительность вяжущего можно выразить через тангенс угла наклона температурных зависимостей логарифма пенетрации – чем меньше наклон зависимости, тем меньше меняются свойства

битума с температурой и шире его интервал пластичности.

Для полученных вяжущих, отличающихся содержанием полимера, была построена концентрационная зависимость температурной чувствительности (рис 2).

Согласно полученным данным введение полимера, расширяя интервал пластичности, уменьшает угол наклона зависимостей. Но чувствительность зависимости к структурному типу битума оказывается существенно выше чувствительности к модификации полимером исследованных концентраций.

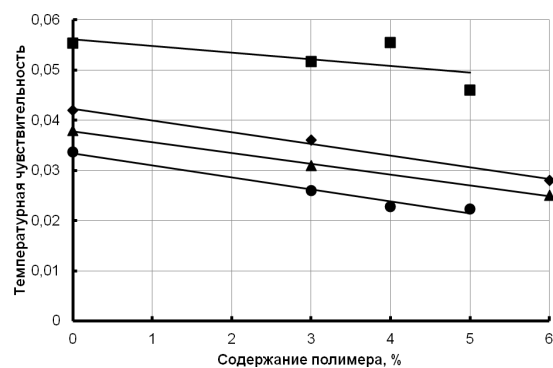


Рис. 2. Изменение температурной чувствительности вяжущего при модификации полимером типа СБС битумов:  $\blacklozenge$  – Бм1,  $\blacktriangle$  – Бм2,  $\blacksquare$  – Бо,  $\bullet$  – Би

При этом наиболее значимым результатом является большее влияние полимера на битумы, близкие к структурному типу «гель». Можно было ожидать, что полимер в меньшей степени повлияет на битумы, изначально обладающие широким интервалом пластичности, но температурная чувствительность при модификации битума Бо 5 % СБС снижается с 0,34 до 0,21 (почти на 40 %), в то время как для битума Би и 5 % СБС снижение с 0,55 до 0,49 составляет только 12 %.

#### Стабильность битумов, модифицированных полимером при инверсии фаз

Отдельной проблемой технологии производства и применения БМП является потеря ими стабильности при хранении при технологических температурах. Ряд исследований [4, 8, 9] указывает на опасность расслоения модифицированного битума при высокой концентрации полимера и использовании вязкого битума для модификации. Тем не менее, различие реологического типа битума может влиять на скорость расслоения систе-

мы и обеспечивать большую стабильность БМП при высоких концентрациях полимера.

Результаты оценки стабильности при прогреве битума 3 цикла по 8 часов при температуре 180 °С приведены в табл. 3. Рассло-

ение оценивалось по разнице пенетрации, температуры размягчения и эластичности верхней и нижней частей образца после выдерживания, отнесённой к их среднему значению.

Таблица 3 – Расслоение БМП в зависимости от типа исходного битума и концентрации полимера

Исходное вяжущее	P <sub>25</sub> , ·0,1мм			T <sub>p</sub> , °С			Э <sub>25</sub> , %		
	Верх	Низ	Расслоение, %	Верх	Низ	Расслоение, %	Верх	Низ	Расслоение, %
Бо + 3 %	103	21	132,3	84,9	80,5	5,3	100	48	70,3
Бо + 4 %	115	16	151,1	88,2	87,9	0,3	100	45	75,9
Бо + 5 %	104	11	161,7	91,1	92,5	-1,5	100	43	79,7
Би + 3 %	40	40	0,0	54,9	54,8	0,2	51	49	4,0
Би + 5 %	55	26	71,6	108,3	57,9	60,6	99,3	40,2	84,7
Бм1 + 3 %	72	53	30,4	57,6	53,1	8,1	93	47	65,7
Бм2 + 3 %	52	32	47,6	78,0	64,9	18,3	95	60	45,2

В зоне инверсии фаз была отмечена потеря стабильности как для БМП на битумах типа «золь», так и на битумах, близких к типу «гель», но при этом и по пенетрации, и по температуре размягчения для битума «золь» было зафиксировано меньшее расслоение. При концентрации полимера в 3 % БМП на битуме «золь» остался стабильным. БМП на битумах промежуточного типа (Бм) показали падение стабильности с увеличением вязкости.

Наибольшее расслоение во всех случаях было присуще БМП на битуме, близком к типу «гель». Это позволяет сделать вывод о том, что преимущества битумов типа «гель» для получения БМП могут быть нивелированы потерей стабильности при хранении. БМП малой пенетрации на этих битумах необходимо использовать непосредственно после приготовления, исключая возможность их расслоения.

### Выводы

1. Приведенные данные позволяют сделать вывод о большей приемлемости битумов, близких к типу «гель», для получения БМП малых пенетраций. В пользу этого свидетельствует больший интервал пластичности таких вяжущих при равной концентрации полимера, обеспечивающей инверсию фаз БМП. При этом низкая температура  $T_{800}$ , полученная для БМП на битуме типа «золь», ставит под сомнение колеестойкость покрытия НiМА на его основе.

2. Доказана возможность получать БМП на основе битумов, близких к типу «гель», которые не отвечают требованиям к дорожным битумам.

3. При всех преимуществах БМП на битумах, близких к типу «гель», их отличает низкая стабильность при высоких температурах, что может обуславливать ряд технологических трудностей, связанных с необходимостью использования таких БМП непосредственно после приготовления.

### Литература

1. Sybilski Dariusz. High modulus asphalt concrete with limestone aggregate / Dariusz Sybilski, Wojciech Bańkowski, M. Krajewski // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2010. – № 3(2). – P. 96–101.
2. Золотарёв В.А. Ресурсо-, энерго и экоэкономия нет альтернативы / В. А. Золотарёв // Автомобильные дороги. – 2016. – № 3. – С. 42 – 48.
3. Cominsky R.J. The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays / Ronald J. Cominsky. – Washington, DC.: Strategic Highway Research Program, 1994. – 172 p.
4. Галкин А.В. Стабильность битумополимеров при технологическом хранении / А.В. Галкин // Вестник ХНАДУ. – 2005. – № 30. – С. 183 – 186.
5. Золотарёв В.А. Свойства битумов, модифицированных полимерами типа СБС / В.А. Золотарёв // Автодорожник Украины. – 2003. – №5. – С. 25–27.
6. Золотарёв В.А. Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды. Том 2 / В.А. Золотарев. – Санкт-Петербург: Славутич, 2013. – 152 с.
7. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-135:2014. – [Чинний від 2015-04-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 23 с. – (Національний стандарт України)

8. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / [пер. с франц.: д.т.н. Золотарёва В.А., инж. Беспаловой Л.А.; под общей ред. д.т.н. Золотарёва В.А., д.т.н. Брагчуна В.И.]. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 228 с.
9. Effect of the morphology of SBS modified asphalt on mechanical properties of binder and mixture / Akiyoshi Hanyu, Sadaharu Ueno, Atsushi Kasahara, Kazuo Saito // *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. – 2005. – №6. – P. 1153–1167.

### References

1. Sybilski Dariusz, Bańkowski Wojciech & Krajewski M. (2010). High modulus asphalt concrete with limestone aggregate. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 3(2), 96–101.
2. Zolotaryov V.A. (2016). Resurso-, energo i ekoberezheniyu net alternativy [There is no alternative for the resources energy and ecology saving] *Avtomobilnyye dorogi. – Automobile roads*, 3, 42–48 [in Russian].
3. Cominsky R.J. (1994). *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays*. Washington, DC: Strategic Highway Research Program.
4. Galkin A.V. (2005). Stabilnost bitumopolimerov pri tehnologicheskoy hranenii [Polymer modified bitumen stability at technological storing]. *Vestnik HNADU. – Bulletin of KhNAHU*, 30, 183–186 [in Russian].
5. Zolotaryov V.A. (2003). Svoystva bitumov, modifitsirovannykh polimerami tipa SBS [Properties of bitumen modified by SBS-type polymer] *Avtodorozhnik Ukrainyi. – Motor-roader of Ukraine*, 5, 25–27 [in Russian].
6. Zolotaryov V.A. (2013) Bitumyi, modifitsirovannyye polimerami i dobavkami. Izbrannyye trudy [Polymer and additives modified bitumen. Selected publications]. V. 2. (Vols. 1-3). St. Petersburg: Slavutich [in Russian].
7. Bitumi dorozhni, modifikovani polimerami. Tehnichni umovi [Polymer modified paving bitumen. Technical requirements]. (2015): DSTU B V.2.7-135:2014 from 1th April 2015. Kiev: Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnitstva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukraini [in Ukrainian].
8. Zolotaryov V.A. & Bratchun V.I. (Eds) (2003). *Vsemirnaya dorozhnaya assotsiatsiya. Tehnicheskyy komitet «Nezhyostkie dorogi» (S8). Modifitsirovannyye bitumnyye vyazhuschie, spetsialnyye bitumyi i bitumyi s dobavkami v dorozhnom stroitelstve* [World road association. Technical Committee “Non-rigid pavements” (S8). Polymer modified binders, special bitumen and bitumen with additives in road building]. (V.A. Zolotaryov & L.A. Bespalov, Trans). Kharkov: KNADU [in Russian].
9. Akiyoshi Hanyu, Sadaharu Ueno, Atsushi Kasahara & Kazuo Saito. (2005). Effect of the morphology of SBS modified asphalt on mechanical properties of binder and mixture. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1153–1167.

**Галкин Андрей Владимирович**, к.т.н., ст. научн. сотрудник,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002,  
Украина, телефон +38 067-799-64-32,  
[a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com)

**Пыриг Ян Иванович**, к.т.н., ст. научн. сотрудник,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002,  
Украина, телефон +38 098-446-62-68,  
[pyrig2000@gmail.com](mailto:pyrig2000@gmail.com)

### STYRENE-BUTADIENE-STYRENE MODIFIED LOW PENETRATION BITUMEN

**A. Galkin, Senior Researcher, PhD (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University**

**Y. Pyrig, Senior Researcher, PhD (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University**

**Abstract.** The tendency to construct road pavements with high stiffness module requires using low penetration bitumen in their composition. The fragility of such bitumen is a well-known issue for the countries with severe climate conditions – such as low temperature at winter. The bitumen modification by high amount of SBS-type polymer is able to significantly decrease their brittle point. This process is based on micromorphology changing, and starts when the amount of polymer is enough for creating a continuous polymeric phase in binder (phase inversion). Trough using high modified bitumen as a decision it is preferable to know the required amount of polymer, that can vary for different types of bitumen. The goal of this work was to estimate the influence of bitumen structural type on amount of polymer that required for low temperature characteristic changing. The first criterion was to obtain the polymer modified bitumen with brittle temperature lower than required for traditional grades bitumen. The second criterion was to provide the penetration of this binder in a range of 10-30 × 0.1 mm (as high modules asphalt required). For research three bitumen with close penetration were

taken from different sources. This bitumen can be classified as different structural type bitumen – sol, sol-gel & gel (or close to gel – depending on classification criteria). As a result of research it was found that for bitumen with penetration close to  $50 \times 0.1$  mm the exceeding of 5 % polymer concentration results in their phase inversion, causing brittle point drastical decrease. This process is more intense for gel type bitumen, so they can be more suitable as a primary product for the modification, unlike the bitumen of sol type. Using additional test – determination of the equipenetration temperature – makes clear one more issue of the sol type bitumen. The softening point of equipenetration temperature is not exceeding  $54^\circ\text{C}$  for polymer modified sol type bitumen, that can result in high pavement rutting. Despite the profits of the gel type bitumen usage for polymer modification it was found that this type of modified bitumen is not stable at the technological temperatures, and must be used after modification immediately. The conclusion of this research can be useful for the low penetration polymer modified bitumen for high modules asphalt pavements designing and technological usage.

**Key words:** polymer modified bitumen, temperature susceptibility, stability, penetration.

#### Бітуми малої penetрації, модифіковані стирол-бутадієн-стиролом

Галкін А.В., ст. наук. співробітник, к.т.н., ХНАДУ

Пиріг Я.І., ст. наук. співробітник, к.т.н., ХНАДУ

**Анотація.** Тенденція влаштування дорожніх покриттів із високими модулями жорсткості вимагає використання бітумів малої penetрації у складі асфальтобетону. У країнах із низькими температурами взимку загальновідомим є такий недолік бітумів малої penetрації як крихкість. Значно знизити температуру крихкості в'язучого можна за рахунок введення підвищеної кількості полімеру типу СБС. Такий процес обумовлено зміною морфології в'язучого і розпочинається, коли кількість полімеру стає достатньою для створення неперервної полімерної фази у в'язучому (інверсії фаз). Через використання

високомодифікованих бітумів для вирішення проблеми тріщиностійкості виникає питання достатності кількості полімеру, що може змінюватись залежно від типу бітуму. Метою цієї роботи було визначити вплив структурного типу бітуму на кількість полімеру, що необхідна для зміни низькотемпературних характеристик в'язучого. Першим критерієм було зниження температури крихкості до меж, прийнятних для бітумів марок БНД. Другим критерієм було забезпечення penetрації такого в'язучого у діапазоні від  $10$  до  $30 \times 0,1$  мм, прийнятному для використання в асфальтобетонах із високим модулем пружності. Для дослідження із різних джерел було отримано три бітуми близької penetрації. Ці бітуми можна класифікувати як бітуми різного структурного типу – «золь», «золь-гель» та «гель» (або близький до гелю – залежно від критерію класифікації). В результаті досліджень для всіх трьох бітумів penetрації близької до  $50 \times 0,1$  мм, перевищення концентрації полімеру в 5 % викликало інверсію фаз, внаслідок чого температура крихкості значно знижувалась. Цей процес проходив більш інтенсивно для бітуму типу «гель», отже такі бітуми можуть бути придатні як сировина для модифікації полімером у більшій мірі, ніж бітуми «золь». Додаткове випробування – визначення еквіпенетраційної температури – виявило ще один недолік бітумів типу «золь». Температура розм'якшеності, полімермодифікованого бітуму типу «золь», визначена за температурою досягнення penetрації у  $800 \times 0,1$  мм, не перевищує  $54^\circ\text{C}$ , що може призвести до високого коксування на асфальтобетонному покритті на такому в'язучому. Попри переваги використання бітумів типу «гель» для отримання модифікованого бітуму, було відмічено нестабільність такого в'язучого за технологічних температур – воно повинно бути використане безпосередньо після приготування. Висновки цього дослідження можуть стати у нагоді як для отримання модифікованих бітумів низької penetрації, так і для вирішення питань технології їх використання.

**Ключові слова:** бітум, модифікований полімером, температурна чутливість, стабільність, penetрація.