

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ, ВВОДИМЫМИ В СМЕСЬ

**В.А. Веренько, профессор, д.т.н., В.В. Занкович, ст. научн. сотр.,
к.т.н., П.П. Яцевич, инженер, Центр научных исследований
и испытаний дорожно-строительных и гидроизоляционных
материалов, БНТУ, г. Минск, Беларусь**

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы улучшения свойств асфальтобетонов путем введения модифицирующих добавок, как в битум, так и непосредственно в асфальтобетонную смесь. Эти мероприятия позволяют увеличить надежность асфальтобетонов и, как следствие, срок службы дорожного покрытия. Большое внимание уделено сравнительным испытаниям наиболее часто применяемых в Республике Беларусь модификаторов.*

***Ключевые слова:** добавки, надежность, «Duroflex®», модификаторы, полимеры, методика.*

Введение

Одно из перспективных направлений повышения качества и срока службы асфальтобетонных покрытий – разработка технологии производства асфальтобетонных смесей, модифицированных полимерными материалами. При этом существует две технологии усовершенствования свойств асфальтобетонов:

- изменение свойств битумов путем добавления модификаторов;
- непосредственным введением в смеситель специальных добавок.

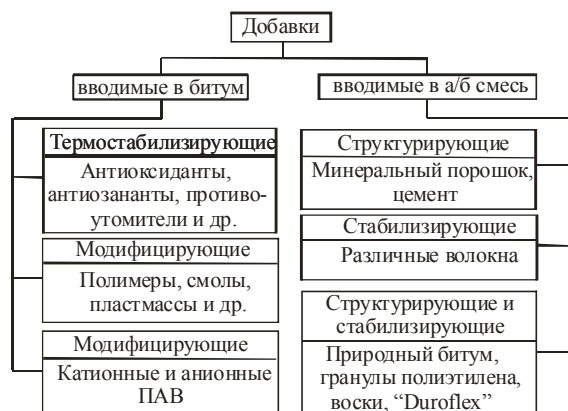


Рис. 1. Схематическое разделение добавок

Состояние вопроса

В настоящее время, подавляющее большинство полимеров предназначено для модификации битума. Наиболее популярные из них можно разделить на четыре группы [1].

1. Каучуки (тиоколовый, этиленпропилен-тиоколовый, бутилкаучук, хлоропреновый, натуральный каучук, изопреновый, дивиниловый, нитрольный и др.). Отличительной их особенностью является то, что они плохо или почти не растворяются в битуме и, как правило, требуют введения через масляные или смоляные растворы. Рекомендуемое их количество не превышает 8% от массы вяжущего. Их применение приводит к улучшению сразу нескольких характеристик битума без ущерба остальным свойствам (только при использовании тиоколового каучука происходит незначительное снижение адгезионных свойств вяжущего).

2. Пластические массы (ПЭВД, атактический, хлорированный, хлоросульфированный полиэтилен, полипропилен, полистирол, акрилаты, полихлорвинил). Рекомендуемое количество полимерной добавки к битуму в среднем составляет от 5 до 20 % (от массы

вяжущего). Модификаторы этой группы (кроме ПЭВД) особенно чувствительны к температурному режиму. Большинство из них не рекомендуется перемешивать с битумом при температуре выше 150 °С. Кроме того, еще одной отличительной особенностью полимеров данной группы является то, что они, как правило, направлены на повышение температурной устойчивости вяжущего, при этом практически не влияют на морозостойкость и адгезионные свойства бетона.

3. Сополимеры стирола и дивинила (резиноподобные пластмассы). В основном широко представлены ДСТ-30 и ДСТ-30Р. Хорошо растворимы в битуме с высоким содержанием мальтеновой части. Повышают теплоустойчивость и эластичность.

4. Олигомеры. Наиболее распространенными являются жидкий каучук (СКД-1А) и олигобутодиен. Они положительно влияют как на температурную устойчивость вяжущего, так и на морозостойкость асфальтобетона. Кроме того, улучшают адгезионную способность модифицированного битума. Единственным недостатком можно считать то, что они применяются только в вулканизованном виде. Вулканизатором может служить MgO.

Кроме вышеперечисленных модификаторов можно отметить группу добавок, применяемых не только для модификации битума путем перемешивания их с вяжущим, но и подаваемых непосредственно в смеситель. Наиболее применяемые – это «Duroflex®», «Зазобит», «Ликомон», Butonal NS 104 и др.

Цель исследования

Цель работы заключается в установлении влияния вводимой в смесь добавки «Duroflex®» на свойства асфальтобетона.

Результаты исследования

При добавлении полимерной добавки непосредственно в смеситель незначительно увеличивается ее количество. Например, рекомендуемое количество Butonal NS 104 при модификации битума составляет 1,8 – 2,3 % в пересчете на твердый полимер, а при введении непосредственно в смеситель – 2,3 – 2,8 % [2]. Это обусловлено тем, что при добавлении к минеральной части модифициро-

ванного битума полимер равномерно распределяется по всей смеси при требуемой толщине пленки вяжущего. Для достижения того же эффекта непосредственно в смесь требуется вводить большее количество полимера. Тем не менее, следует учитывать, что увеличение расхода модифицирующей добавки в значительной мере окупается простотой применения (не требуется дорогостоящее оборудование для модификации битума) и снижением энергоемкости приготовления смеси. В связи с выше сказанным, наибольший интерес из-за своей универсальности могут представлять именно такие добавки.

С точки зрения соотношения цена-качество, нами было уделено особое внимание добавке «Duroflex®». Данная добавка представляет собой смесь термопластичных и термореактивных полимеров, а так же целлюлозных волокон. Что делает ее эффективной и многофункциональной.

Возможность применения «Duroflex®» в качестве модификатора при добавлении в битум исследовалась на основе сравнения с дивинилстирольным термоэластопластом (ДСТ). Для проведения сравнительной оценки вяжущих были приготовлены экспериментальные составы:

- 1) на основании добавки «Duroflex®»;
- 2) на основании дивинилстирольного термоэластопласта (ДСТ).

Добавка «Duroflex®» принималась в количестве 5, 10 и 15% от массы битума БНД 60/90. Добавка ДСТ принималась в количестве 2, 3,5 и 5% от массы битума БНД 60/90. Экспериментальные составы вяжущих подвергались испытаниям с использованием измерителя вязко-упругих свойств «ИВУС-1». В результате исследований определяли следующие показатели:

- модуль упругости при температуре –10 °С;
- динамический модуль упругости при температуре –10 °С;
- вязкость по модели Кельвина-Фойгта при температуре –10 °С;
- вязкость по модели Максвелла при температуре –10 °С.

Результаты испытаний представлены в табл. 1. Дополнительные характеристики вяжущих с модифицирующими добавками представлены в табл. 2.

Таблица 1 Результат определения реологических характеристик вяжущих

Наименование состава	Модуль упругости, МПа	Динамический модуль, МПа	Вязкость по модели Кельвина-Фойгта, Па·с	Вязкость по модели Максвелла, Па·с
«Duroflex®» 5% от битума БНД 60/90	109	2900	5,4E+07	2,89E+09
«Duroflex®» 10% от битума БНД 60/90	106	2170	3,9E+07	2,26E+09
«Duroflex®» 15% от битума БНД 60/90	104	1995	4,9E+07	1,66E+09
ДСТ 2% от битума БНД 60/90	105	2140	5,4E+07	1,77E+09
ДСТ 3,5% от битума БНД 60/90	106	2275	5,6E+07	1,94E+09
ДСТ 5% от битума БНД 60/90	108	2615	5,3E+07	2,34E+09
Битум БНД60/90	106	2220	4,7E+07	2,14E+09

Таблица 2 Характеристики вяжущих с модифицирующими добавками

Процент добавки от битума БНД60/90	Характеристики вяжущего	
	глубина проникания иглы при температуре 25 °С, °П	температура размягчения по кольцу и шару, °С
Duroflex®» 5%	45	53
Duroflex®» 10%	34	80
Duroflex®» 15%	23	93
ДСТ 2%	54	49
ДСТ 3,5%	48	58
ДСТ 5%	39	65
Битум БНД 60/90	70	47

В дальнейшем модифицированный и «чистый» битум были использованы для приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМСц-10 следующего состава. Количество битума принималось разным в зависимости от вида добавки.

Рекомендуемый состав:

1. Контрольный

Щебень фракции 5-10 мм – 72 %;
 Песок из отсеков дробления – 14 %;
 Минеральный порошок – 14%;
 Битум БНД 90/130 –7,2 % (сверх 100%);
 Целлюлозное волокно – 0,25 % (сверх 100%).

2. С использованием добавки «Duroflex»

Щебень фракции 5-10 мм – 72 %;
 Песок из отсеков дробления – 14 %;
 Минеральный порошок – 14%;
 Битум БНД90/130 –6,5 % (сверх 100 %);
 Добавка «Duroflex» - 1,0 (сверх 100 %).

3. С использованием добавки ДСТ

Щебень фракции 5-10 мм – 72 %;
 Песок из отсеков дробления – 14 %;
 Минеральный порошок – 14 %;
 Битум БНД 90/130 – 7,0 % (сверх 100 %);
 Добавка ДСТ – 5 % (от массы битума).

Для оценки свойств, предложенных асфальтобетонов, обратимся к методике, в основу которой положена теория надежности, позволяющая оценить частные уровни надежности по каждому критерию, и тем самым, спрогнозировать долговечность и срок службы материала [3]. Сущность методики состоит в следующем.

По каждому из критериев (сдвигоустойчивость, температурная и усталостная трещиностойкость, коррозионная стойкость) вычисляли коэффициенты запаса

$$K_i = \frac{P_i^\phi}{P_i^{тр}}, \quad (1)$$

где P_i^ϕ – фактические свойства материала, ответственные за появление тех или иных деформаций; $P_i^{тр}$ – требуемые свойства, при которых эти деформации отсутствуют в течение первого года службы.

Для оценки коэффициента запаса из условия устойчивости к появлению пластических деформаций определяли угол внутреннего трения и удельное сцепление. В результате ко-

эффицент запаса из условия обеспечения сдвигоустойчивости (K_1) определяли следующим образом:

$$K_1 = \frac{C}{(\sigma_p - k \cdot \sigma_c \cdot \operatorname{tg}\varphi)} \cdot n, \quad (2)$$

где C – удельное сцепление; n – параметр, учитывающий соотношение фактического и длительного модулей релаксации; σ_p – растягивающие напряжения на контакте колеса с покрытием; k – коэффициент, учитывающий несовпадение угла взаимодействия растягивающих и сжимающих напряжений; σ_c – сжимающие напряжения на контакте колеса с покрытием; $\operatorname{tg}\varphi$ – тангенс угла внутреннего трения.

Для проведения сравнительных оценок принимали следующие значения характеристик: для участков перегонов – $\sigma_p = 0,5$ МПа, $\sigma_c = 1,0$ МПа, $k = 0,43$ и $n = 0,8$; для участков торможения – $\sigma_p = 0,65$ МПа, $\sigma_c = 1,0$ МПа, $k = 0,43$ и $n = 0,8$. Здесь следует особо подчеркнуть, что при использовании формулы (2) учитываются не только реологические свойства материала (параметр n), но и особенности гранулометрии и свойств вяжущего (угол внутреннего трения и удельное сцепление).

Значения тангенса угла внутреннего трения и удельное сцепление определялись по методике, представленной в СТБ 1115-2004.

Коэффициент запаса из условия температурной трещиностойкости находили из условия

$$K_2 = \frac{0,5 \cdot R_c}{R_0}, \quad (3)$$

где R_c – максимальная прочность материала, реализуемая в широком диапазоне температур и скоростей нагружения; R_0 – прочность на растяжение при температуре 0°C .

Значение R_c определяли по формуле

$$R_c = \frac{R_1 + R_2}{2 \left(1 + 1,92 \cdot \lg \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \right)}, \quad (4)$$

где R_1 – прочность на растяжение при температуре -15°C и скорости нагружения 3 мм/мин; R_2 – прочность на растяжение при темпера-

туре -15°C и скорости нагружения 10 мм/мин.

При получении формулы (4) был использован тезис, что материалы с одинаковой релаксационной способностью имеют и близкую температурную трещиностойкость.

Коэффициент запаса из условия усталостной долговечности вычисляли по формуле

$$K_3 = \frac{R_c}{R_c^{\text{тр}}}, \quad (5)$$

где $R_c^{\text{тр}}$ – требуемое значение максимальной прочности материала покрытия (для магистральных дорог и улиц составляет 5,5 МПа).

Коэффициент запаса по коррозионной стойкости определяли по условию:

$$K_4 = \frac{K_\phi^{\text{мпз}}}{K_{\text{тр}}^{\text{мпз}}}, \quad (6)$$

где $K_\phi^{\text{мпз}}$ – фактический коэффициент морозостойкости в агрессивной среде; $K_{\text{тр}}^{\text{мпз}}$ – требуемый коэффициент морозостойкости в агрессивной среде (для условий Республики Беларусь составляет 0,8).

Значения прочности на растяжение при температуре 0 и -15°C определялись по методике СТБ 1115-2004.

Величину фактического коэффициента морозостойкости в агрессивной среде рассчитывали по следующей формуле:

$$K_\phi^{\text{мпз}} = \frac{R_0}{R_0^{\text{мпз}}}, \quad (7)$$

где $R_0^{\text{мпз}}$ – прочность на растяжение при температуре 0°C после проведения 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания в 10%-ом растворе NaCl по методике из СТБ 1115-2004.

По полученным коэффициентам запаса находим частные уровни надежности (P_1, P_2, P_3, P_4) по кривым, представленным на рис. 2.

В результате определения частных уровней был рассчитан общий уровень надежности.

Таблица 3 Характеристики сдвигоустойчивости и трещиностойкости для экспериментальных составов

Номер состава	Характеристики приготовленных смесей								
	внутреннее сцепление, МПа	тангенс угла внутреннего трения	предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа	предельная структурная прочность, МПа	показатель стекания	величина коэффициента запаса*		величина уровня надежности	
						K ₁	K ₂	P ₁	P ₂
1	0,22	0,90	2,23	5,96	0,06	1,56	1,34	0,81	0,92
2	0,30	0,94	2,31	6,42	0,08	2,51	1,39	0,97	0,94
3	0,27	0,91	2,52	6,83	0,14	1,98	1,36	0,94	0,93

* где K₁ – коэффициент запаса по сдвигоустойчивости, K₂ – коэффициент запаса по температурной трещиностойкости, P₁ – уровень надежности по сдвигоустойчивости, P₂ – уровень надежности по температурной трещиностойкости.

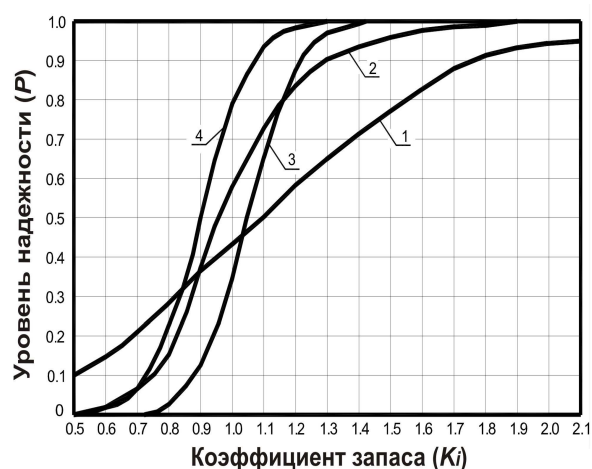


Рис. 2. Зависимость уровня надежности (P_i) от величины коэффициента запаса (K_i)

(P_{общ}), который представляет собой вероятность безотказной работы материала покрытия (без появления сдвиговых деформаций, температурных и усталостных трещин, коррозионных разрушений) в течение всего расчетного срока службы.

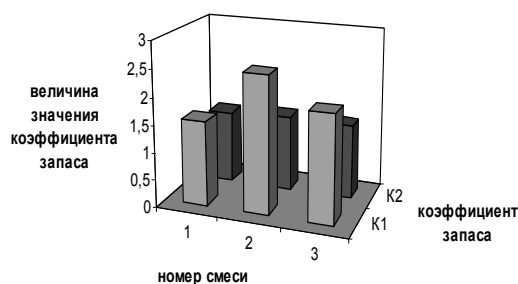
$$P_{\text{общ}} = \sqrt[4]{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4}$$

Характеристики сдвигоустойчивости и трещиностойкости для экспериментальных составов представлены в табл. 3.

Из проведенного эксперимента видно, что модификация битума привела к изменению его свойств и, как следствие, изменению свойств асфальтобетона. При применении «Duroflex®» в большей степени, по сравнению с ДСТ, повышаются характеристики сдвигоустойчивости (угол внутреннего трения и внутреннее сцепление). При этом, как и у дивенилстирольного термоэластопласта, не отмечается снижения показателей темпе-

ратурной трещиностойкости, что, например, наблюдается при простом снижении вязкости битума или его количества. Но битум, модифицированный ДСТ, имеет более высокий показатель эластичности.

величины коэффициентов запаса для исследуемых смесей



величины уровней надежности для исследуемых смесей

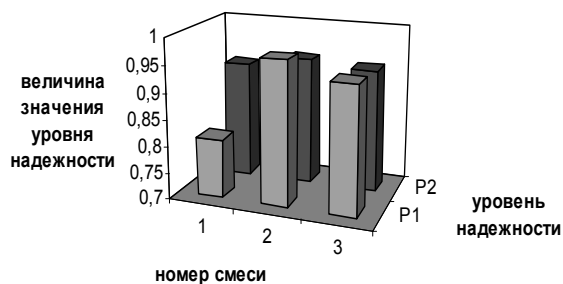


Рис. 3. Величины значений коэффициентов запаса и уровней надежности по критериям сдвигоустойчивости и температурной трещиностойкости

Возможность подачи «Duroflex®» непосредственно в смеситель исследовалась при сравнении свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов по вышеизложенной методике

Таблица 4 Свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов

№ смеси	Коэффициенты запаса					R_0 , МПа	R_c , МПа	$R_{сдв}$, МПа	R_{50} , МПа
	K_1	K_1^*	K_2	K_3	K_4				
1	3,49	1,56	1,15	1,23	1,12	2,95	7,26	3,28	1,52
2	1,97	0,90	1,25	1,21	1,09	2,65	6,64	2,34	1,08
№ смеси	Уровни надежности						φ , °	C , МПа	
	P_1	P_1^*	P_2	P_3	P_4	$P_{общ}$			
1	0,95	0,81	0,94	0,93	0,95	0,94	0,91	41,42	0,53
2	0,94	0,36	0,87	0,89	0,92	0,90	0,71	41,06	0,31

* для участков разгона-торможения и остановок общественного транспорта.

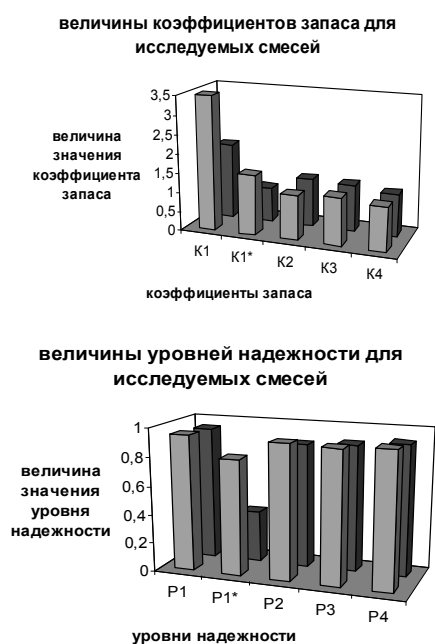


Рис. 4. Величины значений коэффициентов запаса и уровней надежности

(с учетом уровней надежности). Для исследований были приняты две асфальтобетонные смеси следующего состава:

Смесь №1 (приготовлен на АБЗ ОАО «Макродор»): Щебень фракции 10 – 14 мм – 40 %; Щебень фракции 5 – 10 мм – 35 %; Отсев дробления – 14 %; Минеральный порошок – 11 %; Битум БНД60/90–5,9-6,1% (сверх 100 % м/ч); Модифицирующая добавка «Duroflex®» – 0,75 – 0,85 % (сверх 100 % м/ч).

Смесь №2 (приготовлен в лабораторных условиях): Щебень фракции 10 – 14 мм – 40 %; Щебень фракции 5 – 10 мм – 35 %; Отсев дробления – 14 %; Минеральный порошок – 11 %; Битум БНД60/90–5,7-5,9% (сверх 100 % м/ч); Целлюл. волокно – 0,25 % (сверх 100 % м/ч).

Результаты определения характеристик свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов представлены в табл. 4.

Заключение

Данное исследование показало эффективность применения данной добавки при введении ее непосредственно в смеситель. Кроме того, отмечается отсутствие необходимости в применении целлюлозного волокна при приготовлении щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Применение модифицирующих добавок увеличивает стоимость асфальтобетона по сравнению с традиционными смесями, но при этом обеспечивается получение экономического эффекта за счет prolongation срока службы в среднем (с учетом всего комплекса возможных деформаций) на 3 – 5 лет, по отношению к появлению сдвиговых деформаций – в 2 раза.

Литература

1. Веренько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве: Учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 170 с.
2. Типовой технологический регламент на применение латексов Butonal NS 104 и Butonal NS 198 для модификации битумов, битумных эмульсий и асфальтобетонов ТР 218-03450778-374:2006.
3. Веренько В.А. Надежность дорожных одежд: Учебное пособие. – Мн.: БГПА, 2002. – 120 с.

Рецензент: В.А. Золотарев, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2007 г.