

УДК 625.855

МОДИФИКАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПУТЕМ ПРЯМОГО ВВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРА СБС В МИНЕРАЛЬНУЮ СМЕСЬ

Пыриг Я. И., канд. техн. наук

Галкин А. В., канд. техн. наук

Золотарев В. А., д-р техн. наук, профессор

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ)

Введение

Асфальтобетонное покрытие в течение всего срока службы должно обеспечивать нормированную прочность и сдвигоустойчивость, оказывать сопротивление усталостным разрушениям, оставаться стойким к влиянию суточных и сезонных температурных циклов. В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений, позволяющих повысить качество асфальтобетонных смесей при их производстве и обеспечить постоянство физико-механических свойств асфальтобетонов в течение длительного срока их службы, является применение битумов, модифицированных полимерами.

Глубокие исследования модификации битумов полимерами, разработка нормативных документов, регламентирующих технологию приготовления и оценку качества битумополимерных вяжущих (БМП), создание специального оборудования и промышленного производства, положительные результаты производственного применения способствовали широкому распространению асфальтополимербетонов в дорожных отраслях многих стран мира.

Основной особенностью технологии производства асфальтополимербетонных смесей на асфальтобетонных заводах является необходимость дооснащения производственной линии дополнительным оборудованием и обеспечение специальных условий хранения и транспортирования битумополимерного вяжущего с целью предупреждения его расслаивания.

При невозможности или нецелесообразности дооснащения асфальтобетонных заводов специальным оборудованием для приготовления и хранения битума, модифицированного полимером, возможна модификация асфальтобетонных смесей непосредственным введением полимерных добавок в смесь, что позволяет сократить стоимость модифицированной асфальтобетонной смеси, упростить технологию её приготовления и снизить температурные режимы как приготовления, так и уплотнения, что, в свою очередь, непосредственно приведет к экономии энергоресурсов и улучшению охраны окружающей среды.

Анализ публикаций

В качестве полимерных добавок, вводимых непосредственно в асфальтобетонную смесь, используются полимеры двух групп [1]. К первой группе относятся вещества, которые слабо совмещаются с битумом. К ним можно отнести добавки на основе дробленой резины и полиолефинов.

В последние годы вопросу применения этих добавок в качестве модификаторов асфальтобетонных смесей посвящен ряд работ и создан спектр полимерных модификаторов, например КМА, Унирем, РТЭП [2 - 4], применение которых приводит к увеличению интервала

работоспособности асфальтобетона за счет увеличения его деформативной жесткости в летний период и усталостной выносливости при низких температурах.

Вторая группа представлена полимерами, которые легко совмещаются с вяжущим, образуя развитый пространственный полимерный каркас в битуме, что приводит к снижению пенетрации и повышению температуры размягчения вяжущего, а также к увеличению его эластичности и адгезии. Однако в силу кратковременности контакта битума с полимером не происходит полное распределение полимера в объеме, а также его набухание в мальтеновой фракции вяжущего и образование разветвленной пространственной сетки, что соответственно сказывается на эффективности модификации.

В Украине в качестве полимеров, вводимых непосредственно в асфальтобетонную смесь, используются в основном хорошо известные добавки - Butonal NS 104 и Butonal NS 198 (ФРГ), Superplast (Италия), Полидом (Украина). Применение этих полимеров в качестве модификаторов асфальтобетонных смесей путем непосредственного введения в каменные материалы изучено в нескольких публикациях [5, 6]. В то же время полимер стирол-бутадиен-стирол (СБС), который выпускается под разными торговыми марками и уже много лет широко используется в дорожной области для модификации битумов в качестве модификатора, вводимого непосредственного в минеральную смесь при приготовлении асфальтополимербетонных смесей, в Украине не применяется.

Цель работы состояла в установлении возможности модификации асфальтобетонных смесей полимерами типа СБС путем их непосредственного введения в смесь на стадии перемешивания каменных материалов и в оценке влияния на физико-механические показатели качества асфальтополимербетона различных технологических факторов, сопутствующих этой технологии.

Экспериментальные данные

Для исследовательских работ приняты асфальтобетонные смеси типа Г, приготовленные на гранитном отсеке и известняковом минеральном порошке. В качестве вяжущего использовался битум марки БНД 40/60 Ярославского НПЗ, характеризующийся следующими показателями качества: пенетрация при 25 °С – 58×0,1 мм, температура размягчения – 49,7 °С, температура хрупкости – минус 19 °С. Полимеры СБС (линейный - Kraton D-1101, радиальный – Kraton D-1186), вводили как в смесь, так и в битум, в количестве 6 % от содержания битума. Количество вяжущего во всех смесях было одинаковым и составляло 7 %.

Основной проблемой при приготовлении асфальтополимербетонных смесей является введение полимера в смесь и его равномерное распределение в ней. Соответственно первым этапом работы было установление эффективного порядка введения полимера в минеральную составляющую смеси. Для этого были приняты четыре схемы: 1 схема – без полимера; 2 схема – в нагретый до температуры 180 °С отсек вводили полимер, после их перемешивания добавлялся «холодный» минеральный порошок и за ним нагретый до 160 °С битум; 3 схема – в нагретый отсек вводился минеральный порошок, после их перемешивания в смесь добавлялся полимер и затем после перемешивания в полученную смесь добавляли битум; 4 схема – в нагретый отсек вводили предварительно приготовленную смесь минерального порошка с полимером, после перемешивания минеральных материалов в смесь добавлялся битум.

МАТЕРІАЛИ

Смешивание компонентов выполняли в лабораторной мешалке при температуре 160 °С. При любой схеме введения полимера время сухого смешивания составляло 2 минуты, а общее время перемешивания – 5 минут. Уплотнение смесей производилось секторным прессом при температуре 140 °С. После полного остывания плит, их разрезали на кубики с размером граней 5 см и испытывали в соответствии с требованием ДСТУ Б В.2.7-89-99. При этом определяли: среднюю плотность (ρ); водонасыщение (W); пределы прочности при сжатии при 20 °С в сухом (R_{20}) и водонасыщенном состоянии ($R_{20}^{вод}$); предел прочности при сжатии при 50 °С (R_{50}) и коэффициент водостойкости (K_B). Полученные результаты (табл. 1), свидетельствуют о том, что прямое введение полимера в смесь оказывает значительное влияние на свойства асфальтополимербетона.

Таблица 1 – Влияние порядка введения полимера Kraton D-1101 на свойства асфальтополимербетонной смеси

Введение полимера		ρ г/см ²	W, %	Предел прочности при сжатии, МПа			K_B
№ схемы	порядок			R_{20}	$R_{20}^{вод}$	R_{50}	
				1	О + МП + Б	2238	
2	О + П + МП + Б	2235	3,7	4,38	4,16	1,58	0,95
3	О + МП + П + Б	2235	3,7	4,56	4,51	1,66	0,99
4	О + (МП + П) + Б	2266	1,4	4,67	4,72	1,81	1,00

Примечание. О – отсев, МП – минеральный порошок, П – полимер, Б – битум

Вне зависимости от порядка введения полимера наблюдалось повышение прочностных показателей качества асфальтобетона и снижение его водонасыщения, порядок же введения влиял на степень улучшения показателей качества.

Наиболее эффективной оказалась схема, при которой в отсев вводили предварительно перемешанную смесь полимера Kraton D-1101 с минеральным порошком. При этом предел прочности при 20 °С увеличился, относительно прочности асфальтобетона, не содержащего полимер, на 10,9 %, предел прочности при 50 °С – на 16,8 %, водонасыщение уменьшилось на 2,5 %, а коэффициент водостойкости достиг 1,0. Такое улучшение физико-механических показателей находится на уровне улучшения показателей качества при традиционном приготовлении асфальтобетонов на БМП с содержанием в нем полимера 3 % [7].

Наименее эффективным способом введения оказалась вторая схема, когда полимер вводили непосредственно в нагретый до температуры 180 °С отсев. Вероятно, это связано с возможной деструкцией полимера при объединении его с горячим каменным материалом, а также с тем, что частицы полимера оседают на зернах отсева и при дальнейшем перемешивании не распределяются равномерно по всему объему смеси.

При рассмотренных методиках изготовления асфальтополимербетонных смесей полимер не успевает за время перемешивания его с каменными материалами и битумом абсорбироваться на их поверхности и пластифицироваться битумными компонентами в достаточной мере. С учетом этого была принята схема, в соответствии с которой

МАТЕРІАЛИ

асфальтобетонная смесь дополнительно выдерживается в бункере готовой смеси асфальтобетонной установки, а затем транспортируется на место укладки.

Приготовленные по четвертой схеме введения полимера Kraton D-1101, асфальтополимербетонные смеси выдерживались перед уплотнением в сушильном шкафу при температуре 160 °С в течение 0,5 ч, 1 час и 2 часов. Физико-механические показатели качества, асфальтополимербетонов приведены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют о том, что время термостатирования асфальтополимербетонных смесей, изготовленных путем введения полимера непосредственно в каменные материалы, существенно влияет на их прочностные показатели качества. Увеличение времени выдерживания смесей с полимером до 2-х часов приводит к увеличению показателя прочности при сжатии при 20 °С в 1,22 раза, при сжатии при 20 °С водонасыщенных образцов в 1,3 раза, а при сжатии при 50 °С в 1,54 раза.

Меньшая степень увеличения прочности асфальтополимербетонов по сравнению с асфальтобетоном после выдерживания смеси при температуре изготовления объясняется ингибирующим действием полимера. В выполненных ранее исследованиях [8], установлено, что пенетрация и температура размягчения БМП после 8 часов смешивания с битумом при температуре 180 °С остается практически на том же уровне, что и после 0,5 ч смешения (изменении значений пенетрации не превышает 12 %), значения же температуры размягчения и пенетрации при 25 °С битумов, выдержанных в таких же условиях, изменились на 5 °С и 53 % соответственно.

Таблица 2 – Влияние времени выдерживания смеси при температуре 160 °С на показатели качества асфальтополимербетона, приготовленного на полимере Kraton D-1101

№ смеси	Время выдерживания, ч	ρ , г/см ²	W, %	Предел прочности при сжатии, МПа			K _b
				R ₂₀	R ₂₀ ^{вод}	R ₅₀	
1	0,1	2238	3,9	4,21	3,99	1,55	0,95
	2,0	2273	2,4	5,80	6,28	2,64	1,08
4	0,1	2266	1,4	4,67	4,72	1,81	1,00
	0,5	2269	1,2	5,07	4,80	2,01	0,95
	1,0	2276	1,0	5,52	5,32	2,33	0,96
	2,0	2287	1,0	5,72	6,17	2,78	1,00

Полученные результаты испытаний позволили предложить следующую схему модификации полимерами типа СБС асфальтобетонных смесей: введение в каменные материалы полимера в виде его смеси с минеральным порошком; перемешивание составляющих; выдерживание приготовленной асфальтобетонной смеси, модифицированной полимером, при температуре перемешивания в течение 2 ч. Все последующие асфальтобетонные смеси, модифицированные полимерами путем непосредственного их введения в каменные материалы, приготавливались с соблюдением изложенной технологии.

Для модификации битумов кроме полимеров с линейной структурой используются и полимеры с радиальной структурой, например Kraton D-1186. В дорожном строительстве использование радиальных полимеров ограничено из-за низкой стабильности при хранении БМП приготовленного с их использованием. Так, например, в случае битумополимерного

вяжущего, приготовленного на битуме БНД 130/200 с 3 % полимера Kraton D-1186, имеет место разница в значениях пенетрации верхнего и нижнего слоя туба равная 43 % и значениях температуры размягчения – 56 ° С [9]. В то же время для битумополимеров, приготовленных на полимерах с радиальной структурой, наблюдается большая степень модификации вяжущего, проявляющаяся в большем снижении значений пенетрации при 25 °С и большем увеличении температуры размягчения, чем для битумополимерных вяжущих, изготовленных на линейном полимере [10].

Поскольку технология введения полимера непосредственно в минеральные материалы асфальтобетонной смеси не предполагает приготовление битумополимерного вяжущего, а тем более его хранение, представляется целесообразным применить для модификации полимер с радиальной структурой – Kraton D-1186. Полученные показатели качества асфальтобетонных смесей, модифицированных линейным и радиальным полимером типа СБС приведены в табл. 3.

При введении радиального полимера Kraton D-1186 прочность при сжатии при 20 °С по сравнению с асфальтобетоном без полимера выросла в 1,2 раза. В то же время модификация линейным полимером Kraton D-1101 привела к увеличению прочности при сжатии при 20 °С в 1,11 раз. Увеличение показателя прочности при сжатии при 50 °С составляет соответственно 1,17 раз при модифицировании полимером Kraton D-1101 и 1,23 раза при модифицировании полимером Kraton D-1186. Введение в асфальтобетонную смесь радиального полимера Kraton D-1186 привело к некоторому увеличению водонасыщения. Объяснением этому может быть большая интенсивность процессов взаимодействия частиц полимера с вяжущим, в результате которого полимер сильнее структурирует вяжущее, повышая его вязкость и снижая уплотняемость смесей.

Таблица 3 – Свойства асфальтобетонов, модифицированных путем непосредственного введения полимеров с линейной и радиальной структурой в каменные материалы

Модификатор в составе смеси	Время выдерживания при 160°С, ч	ρ, г/см ²	W, %	Предел прочности при сжатии, МПа			K _в
				R ₂₀	R ₂₀ ^{вод}	R ₅₀	
без полимера	0,1	2238	3,9	4,21	3,99	1,55	0,95
	2	2273	2,4	5,8	6,28	2,64	1,08
линейный Kraton D-1101	0,1	2266	1,4	4,67	4,72	1,81	1,0
	2	2287	1,0	5,72	6,17	2,78	1,0
радиальный Kraton D-1186	0,1	2245	3,0	5,06	4,85	1,91	0,96
	2	2233	3,9	6,78	6,77	3,10	1,00

Было проведено сравнение показателей качества асфальтобетонных смесей, модифицированных полимерами разного типа, введенными непосредственно в каменные материалы, с показателями асфальтополимербетонных смесей, приготовленных на битумополимерных вяжущих с использованием тех же полимеров - Kraton D-1101 и Kraton D-1186 (табл. 4).

МАТЕРІАЛИ

Таблиця 4 – Свойства асфальто- и асфальтополимербетон

Смесь	Время выдерживания при температуре смещения, ч	Температура смещения/уплотнения, °С	Количество и тип полимера	ρ г/см ²	W, %	Предел прочности при сжатии, МПа			K _в
						R ₂₀	R ₂₀ ^{вод}	R ₅₀	
Без полимера	0,1	160/140	-	2238	3,9	4,21	3,99	1,55	0,95
на БМП	0,1	180/160	3 % Kraton D-1101	2206	7,5	4,51	4,92	2,21	1,09
			3 % Kraton D-1186	2247	5,0	5,47	5,68	2,78	1,04
			6 % Kraton D-1101	2288	0,3	5,97	6,44	3,00	1,08
			6 % Kraton D-1186	2285	0,3	6,46	6,28	3,16	0,97
Прямое введение полимера	0,1	160/140	6 % Kraton D-1101	2266	1,4	4,67	4,72	1,81	1,00
			6 % Kraton D-1186	2245	3,0	5,06	4,85	1,91	0,96
	2		6 % Kraton D-1101	2287	1,0	5,72	6,17	2,78	1,00
			6 % Kraton D-1186	2233	3,9	6,78	6,77	3,10	1,00

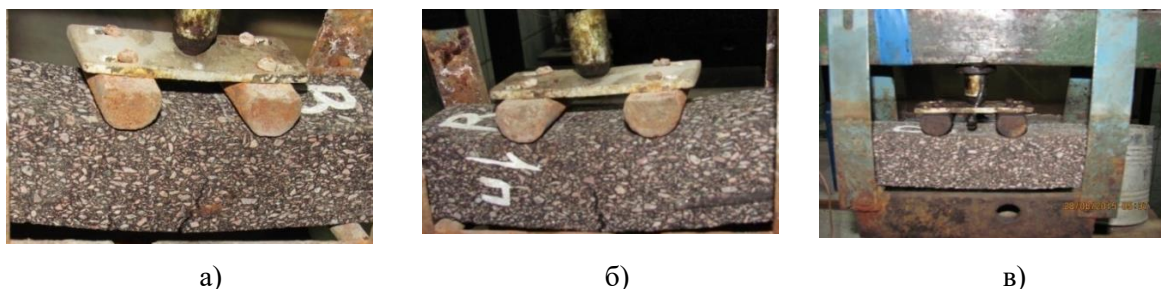
Полученные данные свидетельствуют о том, что асфальтополимербетоны, приготовленные по различным схемам модификации, но в одинаковых условиях изготовления (после смешивания компонентов смесь сразу же уплотнялась на секторном прессе) уступают по своим свойствам асфальтобетонам, приготовленным на битумополимерном вяжущем. Прочность при сжатии при 20°С у асфальтополимербетон, изготовленных по технологии непосредственного введения полимера в смесь находится на уровне (даже несколько выше) показателей прочности при сжатии при 20°С асфальтополимербетон, изготовленных на БМП, модифицированном 3 % как линейного, так и радиального полимера, но при этом ниже в 1,3 раза прочности при сжатии асфальтополимербетон, приготовленных на битуме, модифицированном 6 % как линейного, так и радиального полимера. Аналогичные зависимости прослеживаются и при сравнении показателей прочности при сжатии при 50°С асфальтополимербетон, приготовленных по различным схемам модификации.

Дозревание асфальтобетонных смесей, модифицированных полимером путем прямого его введения в смесь при температуре их перемешивания, существенно повышает прочностные свойства получаемых асфальтополимербетон, особенно в случае применения полимера с радиальной структурой (Kraton D-1186). Прочность при 20°С и при 50°С асфальтобетона, модифицированного 6 % Kraton D-1186, путем прямого введения его в смесь, находится на уровне показателей прочности асфальтополимербетона, приготовленного на БМП с 6 % полимера Kraton D-1186, что подтверждает эффективность технологии дозревания смесей.

Наиболее чувствительным к изменению состава и структуры асфальтобетона, как и других вязко-пластичных систем, являются показатели, учитывающие фактор времени. Одним из них есть время жизни ($t_{ж}$) или жизненный цикл асфальтобетона, определяемый как время от начала его загрузки до разрушения. Для сопоставления времени жизни асфальто – и

асфальтополимербетонов рассматриваемых в работе, образцы-балочки испытывали по схеме чистого изгиба при температуре 21°C под нагрузкой, отвечающей напряжению 0,15 от прочности на изгиб при той же температуре и скорости деформирования 3 мм/мин.

Характер развития трещин (рис. 1) показывает, что после 1000 ч нагружения наибольшей была трещина в асфальтобетонном образце без полимера. Почти в 2,5 раза меньше размер трещины был в асфальтобетонном образце, приготовленном из асфальтобетонной смеси, модифицированной полимером путем прямого введения его в минеральные материалы и практически отсутствовала трещина в асфальтополимербетонном образце, приготовленном на битумополимерном вяжущем.



а) асфальтобетон; б) асфальтобетон, модифицированный полимером, путем прямого введения его в минеральные материалы; в) асфальтобетон, приготовленный на БМП

Рисунок 1 – Опыты для ценки времени жизни при статической усталости, рассматриваемых в работе асфальто- и асфальтополимербетонов

Время до разрушения асфальто- и асфальтополимербетонных образцов-балок распределилось следующим образом: асфальтобетонный образец без полимера разрушился через 1099 ч, асфальтобетонный образец, приготовленный из асфальтобетонной смеси модифицированной прямым введением полимера на каменные материалы – 2686 ч, асфальтополимербетонный образец, приготовленный на БМП – 3028 ч. Соотношения между временами жизни под нагрузкой соответствует: 1; 2,4 и 2,76. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности модификации асфальтобетонных смесей полимерами путем прямого их введения на каменные материалы.

Выводы

1. Модификация асфальтобетонных смесей путем введения полимера непосредственно в смесь приводит к улучшению физико-механических показателей качества асфальтобетонов.

2. Наибольший эффект модификации наблюдается при введении полимера в каменные материалы в виде предварительно приготовленной смеси полимера с минеральным порошком; время, необходимое для дозревания асфальтополимербетонной смеси при температуре ее приготовления должно быть не менее 2 часов.

3. Свойства асфальтополимербетонов, изготовленных путем введения полимера непосредственно в смесь с выдерживанием смеси в течение 2 ч при температуре изготовления, отвечает уровню свойств асфальтополимербетонов, изготовленных на БМП с 6 % полимера СБС. С учетом того, что при прямом введении полимера в смесь не требуется дополнительное оборудование для изготовления и хранения БМП, а снижение температуры изготовления и

уплотнения асфальтополимербетонов, изготовленных по различным схемам модификации достигает 20 °С, внедрение рассматриваемых технологий может обеспечить достижение существенного экономического и экологического эффекта.

4. Применение в предлагаемой технологии СБС с радиальной структурой более эффективно, чем с линейной.

Литература

1. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. PIARC-AIPCR / Пер. с франц. В. А. Золотарева, П. А. Беспаловой; Под общей редакцией В. А. Золотарева, В. И. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ. – 2003 - 229 с.
2. Илиополов С. К. Эффективный модификатор-стабилизатор / С. К. Илиополов, И. В. Мардирасова // Автомобильные дороги. - № 7. – 2006. – С. 28 – 34.
3. Чернов С. А. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колееобразования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог / С. А. Чернов, Д. В. Чирва, Е. В. Леконцев // Интернет журнал «Науковедение». – 2012 – № 4 – С. 1 – 9.
4. Тюков Е. Б. http://www.rlib.yar.ru:8088/cgi-bin/irbis64r_01/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=MARS_PRINT&P21DBN=MARS&S21STN=1&S21REF=&S21FMT=fullw_print&C21COM=S&S21CNR=&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=M=&S21STR= Повышение долговечности шероховатых поверхностных обработок дорожных покрытий [Текст] / Е. Б. Тюков, Ю.И. Калгин // Строительные материалы. – 2009. – № 5. – С. 11 – 13.
5. Соломенцев А. Б. Сравнительная оценка некоторых свойств дорожного битума с различными полимерными добавками и асфальтовяжущего на его основе // А. Б. Соломенцев, А. В. Куликова, С.В. Бухтияров / Строительство и реконструкция. – № 3. – 2014. – С. 54 – 63
6. Кищинский С. В. Модификация битумов и асфальтобетонов комплексной добавкой на основе вторичного полиэтилена / С. В. Кищинский // Материалы 27 конференции «Baltic road association». 24 – 26 августа 2009. – Рига, Латвия. – С. 1 – 12.
7. Золотарев В. А. Водостойчивость битумополимерных вяжущих и асфальтополимербетонов на их основе // В. А. Золотарев, С. В. Кудрявцева, Е. Н. Агеева / Вестник ХНАДУ. – 2006. – № 34-35. – С. 35 – 40.
8. Галкин А. В. Влияние параметров совмещения на свойства битумов, модифицированных стирол-бутадиен-стиролом / А. В. Галкин, Я. И. Пыриг // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - Харьков: ХНАДУ, 2014. - Вып. 64. - С. 115-120.
9. Золотарев В. А. Оценка стабильности при хранении модифицированных полимерами битумов / В. А. Золотарев, А. В. Галкин, С. В. Кищинский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 2. – С. 18 – 21.
10. Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды. Том 2 / Золотарев В. А. – Санкт-Петербург: Славутич, 2013. – 149 с.