Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона

Effect of polymer and functional additives on the properties of bitumen and asphalt-concrete

Н.П. КОТЕНКО, Ю.С. ЩЕРБА, А.С. ЕВФОРИЦКИЙ

N.P. KOTENKO, YU.S. SHCHERBA, A.S. EVFORITSKIY

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

yu.shcherba@yandex.ru

Исследована возможность модификации нефтяного дорожного битума марки БНД 70/100. Он относится к категории вязких битумов и применяется для дорожных работ в теплое время года, при среднесуточной температуре не ниже +5°C. Материал широко используется как для ремонтных работ, так и для прокладки новых дорог. В качестве полимерных материалов для полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) использовались сополимеры стирола с бутадиеном и этилена с винилацетатом. Определены их оптимальные концентрации для получения ПБВ с повышенной теплостойкостью и эластичностью. Функциональной добавкой к битумам являлись углеродные нанотрубки. Приведены физико-механические показатели модифицированных битумов и асфальтобетонных смесей на их основе. Показано, что введение в асфальтобетон даже малого количества нанотрубок приводит к повышенной сдвигоустойчивости и прочности при различных температурах от 0 до 50°C.

Ключевые слова: битум БНД 70/100, сополимеры бутадиен-стирола и этилен-винилацетата, полимернобитумное вяжущее, нанотрубки, асфальтобетон, сдвигоустойчивость, рабочий температурный интервал.

The possibility of modifying the oil road bitumen of the BND 70/100 grade is investigated; it belongs to the category of viscous bitumen and is used for road works in the warm season, with an average daily temperature not lower than +5°C. The material is widely used for repair work, and for laying new roads. Copolymers of styrene with butadiene and ethylene with vinyl acetate were used as polymeric materials for polymer-bitumen binders (PBV). Their optimal concentrations were determined for obtaining PBV with increased heat resistance and elasticity. Carbon nanotubes were used as a functional additive to bitumen. The physical and mechanical properties of modified bitumen and asphalt concrete mixtures based on them are given. It was shown that the introduction of even a small amount of nanotubes into asphalt concrete leads to an increased shear stability and strength at different temperatures from 0 to 50°C.

Keywords: BND 70/100 bitumen, copolymers of butadiene-styrene and ethylene-vinyl acetate, polymer bitumen binder, nanotubes, asphalt concrete, shear stability, operating temperature range.

DOI: 10.35164/0554-2901-2019-11-12-47-49

На состояние покрытия российских дорог, наряду с механическим воздействием транспортного потока, в значительной степени влияют значительные колебания температуры внешней среды, которые служат источником постоянных структурных изменений. В сложившихся условиях повышенного износа дорожных покрытий улучшить транспортно-эксплуатационное состояние существующей дорожной сети возможно при решении проблемы долговечности асфальтобетонного покрытия. Для верхних слоев покрытий необходим материал, обладающий высокой прочностью, сдвиго-, трещино- и водоустойчивостью, и в то же время большей эластичностью [1, 2].

Проблемы дорожного строительства, в частности, качество дорог, неразрывно связаны с вопросами обеспечения отрасли качественными материалами и, прежде всего, главным компонентом асфальтобетонного покрытия – стабильным битумным вяжущим, без которого трудно рассчитывать на серьезное улучшение дорожного строительства с достижением европейского уровня.

Данные исследования посвящены перспективному и актуальному решению проблемы повышения долговечности асфальтобетонных покрытий путём разработки составов качественных полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) и функционально модифицированных битумов для асфальтобетонных смесей.

Целью данных исследований является получение асфальтобетонных смесей с улучшенными структурно-механическими свойствами и температурной устойчивостью.

Структура асфальтобетона должна обеспечивать высокую сдвиго- и трещиностойкость в течение требуемого срока службы покрытия. Поэтому в настоящей работе поставленная цель достигается

путём составления асфальтобетонных смесей с использованием модифицированных вяжущих материалов, определяющих устойчивость материала к накоплению различного рода дефектов и деформаций.

Полимеры, применяемые для улучшения качества дорожных органических вяжущих, принято делить на 4 группы:

- каучукоподобные полимеры;
- термоэластопластичные полимеры;
- термореактивные пластмассы;
- термопластичные пластмассы.

В настоящее время широкое распространение получили полимерно-битумные вяжущие с использованием таких термопластов как полиэтилен, полипропилен, полистирол, этилен-винилацетат (EVA), полиэтилен-терифталат, а также каучуки на основе полибутадиена, хлоропрена, этилен-пропилена СКЭПТ-Э-30, стирол-бутадиен-стирола (СБС), дивинилстирола и полиуретана [3–9].

Практически во всех литературных источниках описаны свойства ПБВ на основе наиболее распространенных нефтяных дорожных битумов БНД 60/90 и БНД 90/130 (ГОСТ 22245-90). В данной работе основой для приготовления модифицированных битумов, отвечающих современным требованиям, был выбран битум марки БНД 70/100 (ГОСТ 33133-2014). Он относится к категории вязких битумов и применяется для дорожных работ в теплое время года, при среднесуточной температуре не ниже +5°C. Материал широко используется для ремонтных работ, а также для прокладки новых дорог.

В представленной экспериментальной работе рассмотрено влияние модификаторов на физико-механические свойства вяжущего,

а также свойства асфальтобетона на основе ПБВ с оптимальными концентрациями.

В качестве полимерных модификаторов применялись сополимеры стирола с бутадиеном и этилена с винилацетатом.

Сополимер бутадиена и стирола (СБС) – искусственный каучук, в нем твердые блоки стирола соединены «пружинками» бутадиена. В смеси с битумом они образуют высокоэластичную структуру. Введение в битум 2,5–6,0% (в зависимости от марки БНД) СБС в качестве полимерной добавки повышает температуру размягчения и морозостойкость битумов, придает органическому вяжущему высокую эластичность, что в итоге повышает теплостойкость и сдвигустойчивость асфальтобетона [4]. Использование порошкового полимера позволяет достаточно быстро приготовить однородное вяжущее даже в лабораторных условиях при смешении составляющих. Крупные гранулы полимера измельчаются на специализированном оборудовании, оснащённом коллоидными мельницами, до молекулярного уровня, для формирования полимерной структурированной сетки.

Комплексный термопласт на основе этиленвинилацетата (ЭВА). Этиленвинилацетат – это термопластичное вещество, получаемое в результате сополимеризации этилена и мономера винилацетата, его содержание определяет механические свойства сополимера. Сополимер ЭВА образует жесткую сеть в модифицированном битуме и противостоит деформации (образованию колеи). Термопласт довольно быстро растворяется в битуме при температуре 155–180°C, что облегчает процесс приготовления ПБВ для асфальтобетона и не требует покупки дорогостоящего и технологически сложного оборудования, как при использовании СБС [9].

В качестве функционального модификатора были использованы одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ). Это инновационный наномодификатор. На сегодняшний день применение нанотехнологичных композитов для повышения функциональных свойств строительных материалов и изделий – это новое перспективное направление в науке и наукоемком производстве. Добавки углеродных нанотрубок позволяют получить композиты, в которых изменяются механические свойства, получаются очень прочные композиционные материалы. Углеродные нанотрубки – очень легкий материал, но, с другой стороны, они обладают высокой удельной прочностью – в 25 раз выше, чем у высокопрочной стали. Поэтому для наномодифицирования достаточно сотых единиц концентрации

ОУНТ. Благодаря физическим силам Ван-дер-Ваальса нанотрубки равномерно распределяются в объеме вяжущего, что увеличивает их удельную поверхность, а уникальное сочетание механических и электронных свойств углеродных нанотрубок делает их лучшими в ряду углеродных волокон [10].

Приготовление битумного вяжущего производилось по следующей технологии: в предварительно обезвоженный и нагретый до 160–180°C битум, перемешивая со скоростью 100–150 об/мин, частично дозируем предварительно подготовленную навеску модификатора от заданной концентрации, далее через 1–2 мин начинаем перемешивание до получения однородной смеси и полного растворения модификатора со скоростью 500–800 об/мин. Время перемешивания составляет 40–60 мин, температура смеси в процессе производства ограничена интервалом 165–185°C. Приготовленные полимерно-битумные вяжущие остывали до комнатной температуры и испытывались на следующий день после приготовления.

Испытания ПБВ проводились по стандартным методикам. Основные физико-механические свойства дорожных вяжущих на основе битума марки БНД 70/100 указаны в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что добавление СБС в битум положительно влияет на его физико-механические свойства, с повышением концентрации значительно увеличивается рабочий температурный интервал, вяжущее становится эластичным и пластичным при положительной и отрицательной температурах, улучшается сцепление минерального материала с вяжущим. Однако, слишком высокая концентрация (более 4%) СБС нежелательна для ПБВ, потому что вяжущее становится сильно вязким, для его размягчения требуется довольно высокая температура, и такое ПБВ сложно использовать для приготовления асфальтобетонной смеси на заводе. Оптимальной концентрацией СБС для данной исследовательской работы является 3%.

Сополимер ЭВА в концентрации 3–4% расширяет температурный интервал битумного вяжущего. Пластичность модифицированного битума при положительной температуре становится лучше, чем у чистого битума, но при 0°C показатели пенетрации и растяжимости сильно ухудшаются. Модификатор ЭВА в концентрации более 4% не лучшим образом отражается на пластичности ПБВ, ухудшается показатель температуры хрупкости, но улучшается устойчивость к высокой температуре.

Наномодифицированный битум обладает хорошей адгезией и повышенной температурой размягчения, вяжущее пластично при положительной температуре. Концентрация ОУНТ 0,01–0,02% в битуме повышает устойчивость к температуре в 1,17 раза.

ПБВ с данными оптимальными концентрациями модификаторов использовались для приготовления асфальтобетонных смесей.

Верхний слой дорожных одежд должен обладать прочностью, износостойкостью и водонепроницаемостью. Этим условиям соответствуют мелкозернистые и песчаные смеси, содержащие

Таблица 1. Физико-механические показатели исходного и модифицированных битумов.

Количество добавки, % от массы битума	Температура размягчения по кольцу и шару, °C ГОСТ 11506-73	Температура хрупкости по Фраасу, °C ГОСТ 11507-78	Пенетрация при 25°C, 0,1 мм ГОСТ 11501-78	Пенетрация при 0°C, 0,1 мм ГОСТ 11501-78	Растяжимость при 25°C, см ГОСТ 11505-78	Растяжимость при 0°C, см ГОСТ 11505-78	Сцепление с мрамором или песком ГОСТ 11508-74
БНД 70/100							
0	48	-18	84	23	94,1	4,0	удовл.
ПБВ с СБС							
1	53	-20	72	24	95,8	5,7	удовл.
2	59	-20	73	26	84,6	6,9	хор.
3	68	-23	64	27	76,0	13,8	хор.
4	76	-26	53	25	69,9	22,6	хор.
8	107	-41	18	9	23	11	хор.
ПБВ с ЭВА							
3	52	-17	66	20	60,5	0,5	удовл.
4	58	-17	54	23	97,6	0,6	удовл.
10	74	-11	64	24	7	3	удовл.
Битум с ОУНТ							
0,01	55	-19	57	27	32	3	хор.
0,02	56	-19	59	28	21	1,6	хор.
0,1	60	-18	46	17	15	0,8	хор.

минеральный порошок [11]. Для отслеживания влияния полученных модифицированных битумов на свойства верхних покрытий дорожных одежд были произведены пробные замесы полимер-асфальтобетонных смесей с минимально-достаточной для видимого результата концентрацией модификатора. Смесь приготавливают смешением в нагретом состоянии щебня, природного дробленого песка, минерального порошка и дорожного вяжущего, взятых в соотношениях, определяемых требованиями ГОСТ 9128-2013.

а

б

в

Рис. 1. Микрофотографии структуры асфальтено-смолистых комплексов битумного вяжущего: а) наномодификатор $1 \times 10^{-5} \%$; б) наномодификатор $5 \times 10^{-5} \%$; в) без наномодификатора.

Выводы

1. Нанотрубки в качестве модификатора битума, как видно из табл. 1, в незначительной степени изменяют его свойства. 0,02% ОУНТ повышают температуру размягчения в 1,17 раза, незначительно снижают температуру хрупкости, увеличивает пластичность вяжущего при 0°C в 1,2 раза и улучшают свойства адгезии. Исследование влияния наномодифицированных битумных вяжущих на прочностные и деформативные показатели асфальтобетона показало, что нанотрубки выступают в роли сшивающего агента, и использование таких модифицированных вяжущих в составе асфальтобетонных смесей способствует повышению водостойкости асфальтобетона в 1,04 раза, сдвигоустойчивости в 2,86 раза, а также пределу прочности при температурах от 0 до 50°C . Возможность применения ОУНТ заключается в непосредственном их смешении с битумным вяжущим в цистерне при АБЗ перед приготовлением асфальтобетонной смеси (АБС).

2. Термопласт на основе ЭВА изменяет реологические свойства дорожных битумов, которые в составе АБС оказывают положительное влияние на такие показатели как водо-, трещиностойкость и сдвигоустойчивость. При изготовлении асфальтобетонных смесей, без предварительного приготовления модифицированного битума, данный модификатор возможно вносить непосредственно на горячий каменный материал в асфальтобетонный смеситель на АБЗ любого типа.

3. ПБВ на основе термоэластопласта типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), в отличие от битума, наряду с коагуляционным каркасом из асфальтеновых комплексов содержит дополнительную эластичную структурную сетку из макромолекул блоксополимера типа СБС, которая и определяет отличие его свойств от свойств битума. При этом минимальное содержание полимера, при котором эта сетка образуется, составляет (2–2,5)% полимера по массе. Повышение содержания полимера повышает прочность сетки, а, следовательно, эластичность и теплостойкость вяжущего и за счет ориентационного эффекта – его гибкость и трещиностойкость при низких температурах. СБС является самым популярным модификатором битумов для различных областей его применения. На основе СБС возможно приготовить качественный полимерно-модифицированный битум (ПМБ), отвечающий требованиям СТО АВТОДОР 2.30-2016. Асфальт, приготовленный на таком ПМБ, обладает довольно высокой водо- и трещиностойкостью по сравнению с чистым БНД и ранее рассмотренным ПБВ. Также немаловажным фактором является то, что приготовление АБС на вяжущем с СБС экономически выгоднее вышеупомянутых ПБВ.

Литература

1. Хученройтер Ю., Вернер Т. Асфальт в дорожном строительстве. АБВ-пресс, 2013. 449 с.
2. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт, 1984. 230 с.
3. Корнейчук Н.С., Лескин А.И., Рахимова Н.А. Полимерно-битумное вяжущее на основе вторичного полипропилена для производства асфальтобетонных смесей // ИВД. 2017. №2 (45).
4. Князев Ю.В., Буданцев В.В., Фролов В.А., Меркулов С.А. Использование полимерных материалов для модификации дорожного вяжущего // Молодой ученый. – 2015. – №12. – С. 198–200.
5. Пат. 2002120569/04 Калгин Юрий Иванович, Кондратьев Александр Николаевич, Лаврухин Виталий Петрович, Юдин Виктор Петрович.
6. Пат. 2648097 RU Плешаков Николай Олегович (RU), Лысенко Алексей Георгиевич (RU).
7. Пат. 2573012 RU «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».
8. Пат.2158742 RU Раков К.В.; Суворова А.И.; Ковалева М.В.; Матушкин В.Г.; Сухинин Н.С.; Шеломенцев В.А.
9. Пат.2604217RU Штепа Сергей Вячеславович (RU).
10. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Влияние углеродных нанотрубок на свойства ПБВ и асфальтобетона. Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 110–119.
11. Гохман Л. М. Битумы, Полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон. Москва, 2008. 81 с.