

УДК 624.139.22



С.А. Мясникова, В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский
Вологодский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ НЕФТЯНОГО ДОРОЖНОГО БИТУМА С БИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ВОСКА

В статье приведены результаты комплексного исследования реологических свойств и адгезии нефтяного дорожного битума марки БНД 100/130 Нижегородского нефтеперерабатывающего завода, модифицированного бифункциональной добавкой из низкомолекулярного полиэтиленового воска (БНПВ). Показано, что при введении добавки БНПВ улучшаются когезионные свойства нефтяных битумов, а именно: возрастает вязкость модифицированного битума, увеличивается температура размягчения модифицированного битума, уменьшается величина растяжимости модифицированного битума. Проведено исследование адгезионной устойчивости в композиционной системе «битумное вяжущее – щебеночный материал» на основе нефтяного дорожного битума, модифицированного полифункциональной добавкой на основе низкомолекулярного полиэтиленового воска, и наиболее востребованного щебеночного гранитного каменного материала. Введение в дорожный битум бифункциональной добавки БНПВ значительно увеличивает величину адгезии (сцепления) модифицированных нефтяных дорожных битумов к поверхности гранитного щебня.

Нефтяные дорожные битумы, модифицированные нефтяные дорожные битумы, низкомолекулярный полиэтиленовый воск, реологические свойства, пенетрация, температура размягчения, адгезионные свойства.

В настоящее время основным типом дорожных одежд являются асфальтобетонные покрытия. Их состояние оказывает существенное влияние на эффективность работы автомобильного транспорта. Дефекты дорожного покрытия приводят к повышению аварийности, увеличению расхода топлива и как следствие к росту стоимости перевозок автомобильным транспортом.

Долговечность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги зависит от природно-климатических факторов, интенсивности движения, транспортной нагрузки, технологии производства асфальтобетонной смеси, качества ее уплотнения, но и в значительной степени от качества битумных вяжущих, которые формируют важнейшие когезионные и адгезионные связи в композиционной структуре асфальтобетона. При этом надлежащее качество битума сегодня практически не обеспечивает никто из российских производителей этого материала. В связи с этим особую роль в настоящее время представляют исследования реологических и адгезионных свойств нефтяных дорожных битумов, модифицированных современными добавками, в частности полифункциональной добавкой на основе низкомолекулярного полиэтиленового воска.

В данной работе нами проведено исследование следующих реологических свойств модифицированного нефтяного битума: вязкости (пенетрации) и температуры размягчения битума. Определение вязкости

проводили на приборе пенетромтр согласно ГОСТ 33136-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы». Испытание заключается в измерении глубины, на которую погружается игла пенетромтра в испытуемый образец битума при определенных условиях (температуре, нагрузке и продолжительности приложения нагрузки), которая выражается в единицах, соответствующих десятым долям миллиметра (0,1 мм). Определение температуры размягчения битума проводили на приборе «Кольцо и шар» по ГОСТ 33142-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры размягчения. Метод «Кольцо и шар».

Сущность метода заключается в том, что два диска битума помещают в латунные кольца с бортиками, нагревают с контролируемой скоростью в жидкостной бане до тех пор, пока каждый диск удерживает стальной шарик. За температуру размягчения принимают среднее значение температур, при которых каждый из двух дисков размягчается настолько, чтобы каждый шарик, покрытый битумом, переместился вниз на расстояние 25 мм.

В данной работе был использован спектрофотометрический метод определения адгезии битума к поверхности каменных материалов с помощью высокоточного прибора – спектрофотометра [1, 2]. Спектрофотометр – прибор для измерения коэффициента

пропускания, оптической плотности и концентрации жидких проб различного назначения, а также для спектрального анализа и фотометрирования. В спектрофотометрическом методе исключается зависимость от субъективной возможности лаборанта-эксперта определять площадь покрытия поверхности щебня битумной пленкой. Нами были проведены экспериментальные исследования по определению адгезии битума к поверхности щебеночного каменного материала с использованием спектрофотометра ПЭ-5300В.

В качестве нефтяного вяжущего в работе использован битум нефтяной дорожный марки БНД 100/130 производства Нижегородского НПЗ. В качестве модифицирующего компонента была использована бифункциональная добавка на основе низкотемпературного полиэтиленового воска. В дальнейшем эту добавку будем обозначать аббревиатурой «БНПВ». Она представляет собой окисленный низкомолекулярный полиэтилен низкого давления с молекулярной массой 5000...15 000, внешний вид – порошок средней крупности белого цвета, температура размягчения – 115...140 °С, плотность – 0,9 г/см³.

Качество асфальтобетона во многом определяется техническими свойствами битума, который выполняет роль связующего материала. При этом надлежащее качество битума сегодня не обеспечивает никто из российских производителей этого материала [3–6]. Практика дорожного строительства показывает, что большая часть вязких дорожных битумов, выпускаемых нефтеперерабатывающими заводами, имеют не удовлетворительное сцепление с большей частью минеральных материалов, особенно из горных пород кислого происхождения, где содержание SiO₂ больше 50 % (граниты, песчаники и т.п.). Это во многом отражается на снижении водостойкости и коррозионной стойкости асфальтобетона.

В России производство битума сосредоточено на крупных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), где битум является остаточной частью производства нефтепродуктов и качество этого материала находится

на низком уровне. По данным отчетов V Конгресса «Евроасфальт и Евробитум» роль вяжущих в процессах разрушения покрытия велика: около 90 % в случае термического растрескивания, примерно 60 % при усталостном растрескивании и около 40 % при постоянной деформации [7]. Таким образом, эксплуатационная надежность дорог с длительным сроком службы и низкой стоимостью технического обслуживания в значительной степени зависят от вяжущего.

Представляется, что сегодня единственный способ повысить качество битума в России – применять модифицированный битум с когезионными и адгезионными добавками. Когезионные свойства нефтяных дорожных битумов можно значительно усилить путем введения различных полимерных материалов (дивинилстирольный термопласт, ДСТ-30, добавку «Кратон» и др.).

Для повышения адгезионных свойств битума необходимо применять различного рода поверхностно-активные вещества (ПАВ), повышающие адгезионную способность битума.

На сегодняшний день существует огромный выбор адгезионных присадок для битумов, в качестве которых в дорожном строительстве, во многих случаях, применяются амидоамины, имидазолины, аминокислоты и их соли. Однако не все из них могут обеспечить стабильность адгезионных свойств, при этом не ухудшив другие физико-химические показатели качества битума (пенетрацию при 25 и 0 °С, температуру размягчения и т.д.). В связи с этим особую актуальность в настоящее время представляет поиск и исследование бифункциональных добавок, которые способны одновременно улучшать когезионные и адгезионные свойства модифицированных битумов.

Результаты экспериментальных исследований влияния концентрации бифункциональной добавки на основе низкомолекулярного полиэтиленового воска на пенетрацию модифицированного нефтяного дорожного битума БНД 100/130 Нижегородского НПЗ при 25 °С приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований влияния концентрации добавки БНПВ на величину пенетрации битума Нижегородского НПЗ БНД 100/130 иглы при 25 °С

Вид битумного вяжущего	1-е значение	2-е значение	Глубина проникания иглы	Среднее значение глубины проникания иглы
БНД 100/130	65	160	95	97
	66	165	99	
	62	159	97	
БНД 100/130 (+1,0 % БНПВ)	68	146	78	78
	70	149	79	
	73	150	77	
БНД 100/130 (+1,5 % БНПВ)	78	148	70	72
	72	146	74	
	75	147	72	
БНД 100/130 (+2,0 % БНПВ)	69	138	69	68
	73	141	68	
	74	141	67	

Результаты исследований влияния концентрации добавки БНПВ на величину пенетрации битума Нижегородского НПЗ БНД 100/130 иглы при температуре 0 °С

Вид битумного вяжущего	1-е значение	2-е значение	Глубина проникания иглы	Среднее значение глубины проникания иглы
БНД 100/130	70	102	32	32
	68	101	33	
	69	100	31	
БНД 100/130 (+1,0 % БНПВ)	74	105	31	32
	66	100	34	
	69	100	31	
БНД 100/130 (+1,5 % БНПВ)	70	102	32	33
	65	99	34	
	68	101	33	
БНД 100/130 (+2,0 % БНПВ)	76	111	35	36
	72	109	37	
	70	106	36	

Таблица 3

Результаты исследований влияния концентрации добавки БНПВ на величину температуры размягчения битума БНД 100/130 Нижегородского НПЗ

Вид битумного вяжущего	Температура размягчения, °С		Среднее значение температуры размягчения, °С
	1-е испытание	2-е испытание	
БНД 100/130	45,8	46,4	46,1
БНД 100/130 (+1,0 % БНПВ)	57,0	58,0	57,5
БНД 100/130 (+1,5 % БНПВ)	62,5	62,9	62,7
БНД 100/130 (+2,0 % БНПВ)	68,0	67,6	67,8

По результатам исследования видно уменьшение величины пенетрации с увеличением концентрации добавки БНПВ. Таким образом, можно сделать вывод, что при введении в битум добавки БНПВ увеличиваются когезионные силы в модифицированном битуме, а также повышается вязкость битумного вяжущего.

В таблице 2 приведены результаты исследований по определению глубины проникания иглы при 0 °С модифицированного вяжущего с добавкой БНПВ. Видно, что при температуре 0 °С наблюдается уменьшение значения величины пенетрации при увеличении концентрации БНПВ, хоть и менее существенное, чем при 25 °С.

Данные, полученные в ходе исследования, позволяют заключить, что введение полифункциональной модифицирующей добавки БНПВ улучшает однородность смеси битума с полимером и увеличивают прочность микроструктуры внутримолекулярных связей битума. Это обуславливает повышение величины когезии модифицированного нефтяного дорожного битума по сравнению с базовым битумом БНД 100/130.

Следующим этапом нашей работы было исследование влияния концентрации добавки БНПВ на величину температуры размягчения битума БНД 100/130 Нижегородского НПЗ. За температуру размягчения битума принимаем условно ту температуру, при которой битум переходит в капельно-текущее состояние в условиях стандартного испытания.

Результаты исследования величины температуры размягчения битума Нижегородского НПЗ БНД 100/130, модифицированного добавкой БНПВ, представлены в таблице 3.

По результатам проведенных исследования отчетливо видно, что с ростом увеличения концентрации бифункциональной добавки БНПВ температура размягчения модифицированного битума повышается бо-

лее чем на 47 % и достигает величины 67,8 °С. Это позволяет сделать вывод, что деформационные свойства битума, такие как упругость, повышаются, что создает более сильное когезионное взаимодействие в структуре модифицированного нефтяного дорожного битума.

Впервые нами проведено комплексное исследование реологических свойств и адгезии нефтяного дорожного битума марки БНД 100/130, модифицированного добавкой БНПВ. Исследование адгезионных свойств было проведено с использованием инновационной методики, которая принципиально отличается от известных методов визуальной оценки степени сохранности пленки битумного вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде.

Для этого мы использовали современный спектрофотометрический метод определения величины адгезии битумного вяжущего к поверхности щебеночного каменного материала. В данной работе нами были проведены экспериментальные исследования по определению адгезии модифицированного битума к поверхности гранитного щебня с точностью до 1 % на спектрофотометре ПЭ-5300В с использованием органического красителя – тетрасульфофталоцианина меди.

Результаты исследования адгезионной устойчивости в композиционной системе «битумное вяжущее – щебеночный материал» на основе нефтяного дорожного битума БНД 100/130, модифицированного полифункциональной добавкой БНПВ, и гранитного щебня приведены в виде графика на рисунке. Из графика отчетливо видно, что модификация дорожного битума бифункциональной добавкой на основе низкомолекулярного полиэтиленового воска увеличивает величину адгезии битума БНД 100/130 к поверхности гранитного каменного материала более чем в 3 раза.



Рис. Влияние добавки БНПВ на величину адгезии битума БНД 100/130 к поверхности гранитного щебня

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Впервые проведено комплексное исследование реологических свойств и адгезии нефтяных битумов, модифицированных бифункциональной добавкой из низкомолекулярного полиэтиленового воска – БНПВ.

2. Показано, что при введении добавки БНПВ улучшаются когезионные свойства нефтяных битумов, а именно: возрастает вязкость модифицированного битума; увеличивается температура размягчения модифицированного битума.

3. Введение бифункциональной добавки БНПВ значительно (более чем в 3 раза) увеличивает величину адгезии модифицированного нефтяного дорожного битума марки БНД 100/130 к поверхности гранитного щебня, что обеспечит в перспективе высокую долговечность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги.

Литература

1. Шорин, В. А. Использование спектрофотометрической и компьютерной диагностики для определения качества сцепления в системе «битум – каменный материал» / В. А. Шорин, С. В. Припорова // Актуальные проблемы современного дорожного хозяйства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – С. 123–126.

2. Шорин, В. А. Исследование спектрофотометрической и компьютерной диагностики для определения качества битумокаменеральных материалов / В. А. Шорин, С. В. Припорова // Современные про-

блемы строительства и реконструкции зданий и сооружений : материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – С. 335–337.

3. В. А. Шорин, С. В. Припорова // Современные проблемы строительства и реконструкции зданий и сооружений : материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГТУ, 2003. – С. 335–337.

4. Худякова, Т. С. О битумах вязких замолвите слово / Т. С. Худякова // Мир дорог. – 2007. – № 27. – С. 61–65.

5. Гуреев, А. А. Производство дорожных битумов в России / А. А. Гуреев // Химия и технология топлив и масел. – 2009. – № 6. – С. 6–8.

6. Шорин, В. А. Исследование пенетрации (вязкости) нефтяных дорожных битумов различных производителей / В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский, С. А. Мясникова // Вестник Вологодского Государственного университета. Серия: Технические науки. – 2022. – № 4(18). – С. 31–33.

7. Шорин, В. А. Исследование температуры размягчения и дуктильности нефтяных дорожных битумов различных производителей / В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский, С. А. Мясникова // Вестник Вологодского Государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 2 (20). – С. 27–29.

8. Высоцкая, М. А. Вяжущее: особенности правильного выбора / М. А. Высоцкая, Д. А. Кузнецов, С. Ю. Русина // Дорожная держава. – 2014. – № 54. – С. 54–57.

S.A. Myasnikova, V.A. Shorin, A.Yu. Velsovsky
Vologda State University

STUDY OF RHEOLOGICAL AND ADHESIVE PROPERTIES OF OIL ROAD BITUMEN WITH BIFUNCTIONAL ADDITIVE BASED ON LOW-MOLECULAR POLYETHYLENE WAX

The article presents the results of a comprehensive study of the rheological properties and adhesion of oil road bitumen grade BND 100/130 of the Nizhny Novgorod Oil Refinery, modified with a bifunctional additive of low-molecular polyethylene wax (BNPV). It is shown that with the introduction of the BNPV additive, the cohesive properties of oil bitumens improve, namely the viscosity of the modified bitumen increases, the softening temperature of the modified bitumen increases, and the extensibility of the modified bitumen decreases. The study of adhesion resistance in the composite system "bitumen binder – crushed stone material" based on petroleum road bitumen modified with a polyfunctional additive based on low-molecular polyethylene wax and the most popular crushed stone granite stone material was conducted. The introduction of the bifunctional additive BNPW into the road bitumen significantly increases the adhesion (bondage) of modified petroleum road bitumens to the surface of granite crushed stone.

Petroleum road bitumens, modified petroleum road bitumens, low-molecular polyethylene wax, rheological properties, penetration, softening temperature, adhesive properties.