

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРАМИ

Худякова Т. С., к.т.н.,
заместитель директора ГП
«Дорожный учебно-инженерный центр»
(Санкт-Петербург)

Масюк А. Ф.,
начальник лаборатории технического
контроля и испытаний материалов
ГУДП «ДОРТЕХНОЛОГИИ»
Комитета по благоустройству
и дорожному хозяйству
Администрации Санкт-Петербурга.

Калинин В. В.,
Генеральный директор ОАО «АБЗ-1»
(Санкт-Петербург).

Нефтяные битумы находят широкое применение в дорожном и гражданском строительстве, благодаря высокой пластичности, способности выдерживать без разрушений воздействие низких температур, температурных перепадов, различных деформационных нагрузок. Основным потребителем нефтяных битумов является дорожное строительство, в настоящее время до 90% производимого во всем мире объема товарных битумов потребляется дорожной отраслью. Специалисты разных государств сходятся во мнении, что нефтяной битум является самым дешевым и наиболее универсальным материалом для применения в качестве вяжущего при устройстве дорожных покрытий.

Необходимо отметить тот факт, что дорожные битумы российского и зарубежного производства принципиально различаются по качеству, что предопределено различием нормативных требований к этому виду товарной продукции в нашей стране и за рубежом. Практика дорожного строительства в России, состояние дорог даже федерального значения опровергает мнение о безукоризненности существующих требований к дорожным битумам, сформулированных в ГОСТ 22245. Многолетний опыт устройства и содержания дорожных покрытий с использованием битумов дорожных вязких марки БНД, изготавливаемых российскими НПЗ, свидетельствует о том, что, например, при значении показателя температуры хрупкости битума, равном -27°C (что намного превышает предел, указанный ГОСТ 22245), разрушение покрытия начинается уже в первый год эксплуатации по причине недостаточной способности битумного вяжущего к растяжению (и это при соответствии значения показателя растяжимости битумов при 25 и 0°C нормативным требованиям).

Положительные результаты применения в последние 10 лет при строительстве и ремонте дорожных покрытий в Санкт-Петербурге и Ленинградской области битумов, характеризующихся иными, чем битумы марок БНД, свойствами, например фирм «NESTE», «NYNAS», БДУ (Ухтинский НПЗ), позволяют сделать вывод о том, что в основе своей для повышения эксплуатационной надежности дорожных покрытий оказывается достаточным изменить качество дорожного битума. Использование битумов зарубежного производства и битума дорожного улучшенного марки БДУ (ТУ 38.1011356-91) в составе асфальтобетонных смесей взамен битума дорожного вязкого марки БНД (ГОСТ 22245-90) обеспечило возможность заказчику требовать, а подрядным организациям Санкт-Петербурга

принимать на себя гарантийные обязательства на устроенные верхние слои дорожных одежд сроком до 5-7 лет.

Более высокая эксплуатационная надежность асфальтобетонных, изготовленных с применением вышеуказанных марок битума, обусловлена оптимальным комплексом реологических свойств последнего. Это достигается регламентацией зарубежными стандартами требований к таким показателям качества битумов, как кинематическая вязкость при 135°C , динамическая вязкость при 60°C , и установлением пределов изменения глубины проникания иглы, растяжимости при 25°C , динамической вязкости при 60°C в процессе испытания битума на термостабильность по методике ASTM D 1754 (или ASTM D 2872), имитирующей условия воздействия на битумную пленку кислорода воздуха при повышенной температуре в асфальтобетонном вяжущем при изготовлении горячих асфальтобетонных смесей.

Анализ результатов испытания (в том числе и по методикам ASTM) битумов дорожных российского производства (таблица 1) показывает, что при идентичности значений показателя глубины проникания иглы при 25°C и других битумов, изготовленных из остатков переработки разных по химическому составу нефтей, принципиально различаются по вязкости. При работе в составе дорожного асфальтобетона наиболее устойчивым к воздействию сдвиговых усилий в теплое время года оказывается битум марки БНД 60/90, характеризующийся более высокой динамической вязкостью при 60°C . Однако, трещиностойкость асфальтобетонных покрытий при прочих равных условиях зависит от способности битума выдерживать без разрушения растягивающие усилия. Битумы дорожные разных марок характеризуются разным уровнем значений показателя растяжимости при 25°C : для битума дорожного вязкого растяжимость при

25°C , как правило, низкая (менее 100 см). В условиях испытания на термостабильность по методике ASTM D1754 резко изменяются значения показателей физико-механических свойств, в том числе и обуславливающих работоспособность нефтяного вяжущего. В результате наименьшей растяжимостью характеризуется битум дорожный вязкий БНД 60/90, что обуславливает и более низкую трещиностойкость асфальтобетона, изготовленного с использованием битума этой марки, особенно при переходах температуры через 0°C .

В химических процессах, протекающих при высокой температуре в присутствии кислорода воздуха, наиболее активно участвуют соединения, входящие в состав битума марки БНД 60/90, о чем свидетельствует значительная потеря массы образца при испытании по методике ASTM D 1754. Известно, что при смешении с минеральным материалом битум переводится в пленочное состояние, причем толщина пленки в зависимости от фракционного состава асфальтобетонной смеси достигает 5-15 мкм. Фактически 1т битума распределяется по поверхности, равной $10\,000\text{ м}^2$. Следовательно, в асфальтобетонном вяжущем создаются все условия для окисления битума и удаления летучих компонентов, т.е. для химического старения битума. С повышением температуры скорость реакции окисления соединений, входящих в состав битума, возрастает. По данным фирмы «SHELL» (рис.1), интенсивность процесса старения битума на стадии приготовления асфальтобетонных смесей намного выше, чем при транспортировке и эксплуатации.

На основании вышеизложенного, следует подчеркнуть, что проблема качества дорожных битумов, с точки зрения их эксплуатационной надежности в составе дорожных покрытий, в России реально существует, однако для ее решения недостаточно добиться соответствия показателей товар-

Таблица 1

**Физико-механические свойства дорожных битумов,
полученных из нефтяного сырья разной химической природы**

Наименование показателей	БДУ 70/100 ТУ 38.1011356-91 (изм. №2)	БДУС 70/100 ТУ 0256-096-00151807-97	БНД 60/90 ГОСТ 22245-90
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1мм	90	89	89
Температура размягчения, °С	47	46	47
Растяжимость при 25°C, см	>150	>150	79
Температура вспышки, °С	284	290	247
Температура хрупкости, °С	- 20	-19	-22
Кинематическая вязкость при 135°C, сСт	420	239	274
Динамическая вязкость при 60°C, Па с	209	87	375
После испытания по методике ASTM D 1754:			
Изменение массы после прогрева, % масс	0,09	0,18	0,92
Температура размягчения, °С	49	50	51
Остаточная пенетрация, в % от исходного значения	74	69	64
Растяжимость при 25°C, см	>150	125	38
Кинематическая вязкость при 135°C, сСт	520	320	366
Динамическая вязкость при 60°C, Па с	436	169	972

ных свойств битумов дорожных вязких марки БНД требованиям действующего ГОСТ 22245. Необходимо так же, как и за рубежом, регламентировать изменение таких свойств битума, как глубина проникания иглы, растяжимость и изменение массы в технологических условиях приготовления горячих асфальтобетонных смесей, а также дополнительно ввести в перечень нормируемых показателей качества параметры вязкости.

В условиях постоянного роста интенсивности движения, нагрузок на ось проблема повышения эксплуатационной надежности дорожных битумов в покрытиях в нашей стране приобретает все большую остроту. Следует принимать меры для увеличения срока службы дорожных покрытий на мостах и искусственных сооружениях – объектах, на которых, как показывает зарубежный опыт, потенциальных возможностей нефтяного битума даже оптимизированного качества оказывается недостаточно.

Все это обуславливает необходимость не только корректировки нормативных требований к физико-механическим свойствам товарных дорожных битумов отечественного производства, но и разработки, внедрения в практику дорожного строительства на основе битумов улучшенного качества новых материалов, способных обеспечивать более высокую прочность, долговечность дорожных покрытий, по сравнению с потенциальными возможностями нефтяных битумов.

Изучением вопроса придания битумам специфических свойств ученые всего мира занимаются более 55 лет. За прошедшие годы накоплен богатейший багаж знаний, основывающийся не только на результатах научных исследований, но и на практическом опыте использования модифициро-

ванных битумов, в том числе и в дорожном строительстве.

Установлено, что экономически эффективными модификаторами свойств нефтяных битумов являются те, которые доступны и недороги. С технической точки зрения для создания на основе битумов композиционных материалов с заданным комплексом свойств могут применяться только те модификаторы, которые:

- не разрушаются при температуре приготовления асфальтобетонной смеси;
- совместимы с битумом при проведении процесса смешения на обычном оборудовании при температурах, традиционных для приготовления асфальтобетонных смесей;
- в летнее время повышают сопротивление битумов в составе дорожного покрытия к воздействию сдвиговых напряжений без увеличения их вязкости при температурах смешения и укладки, а также не придают битуму жесткость или ломкость при низких температурах в покрытии;
- химически и физически стабильны и сохраняют присущие им свойства при хранении, переработке, а также в реальных условиях работы в составе дорожного покрытия.

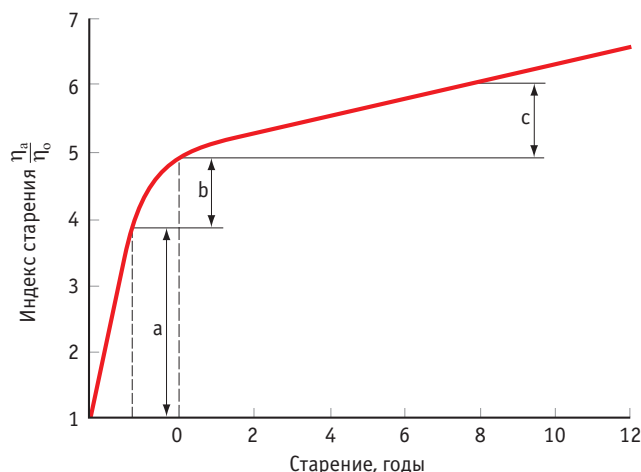
В настоящее время в зарубежной практике для устройства и ремонта дорожных покрытий при необходимости используются композиционные материалы на основе битума и модификаторов, таких как сера, каучук (полибутадиеновый, натуральный, бутилкаучук, хлоропрен и др.), органомарганцевые компаунды, термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, этилен-винилацетат (EVA), термопластичные каучуки (полиуретан, олефиновые сополимеры, а также блоксополимеры стирол-бутадиен-стирола (СБС). Целесообразность применения в составе

дорожного асфальтобетона битума, модифицированного тем или иным видом модификатора, в каждом конкретном случае обосновывается с технической и экономической точки зрения.

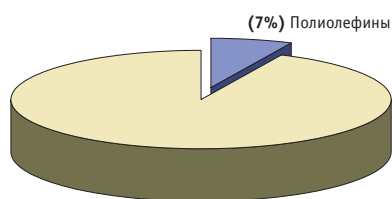
По данным ЕАРА (таблица 2), доля модифицированных битумов от общего объема битумов, используемых для строительства и ремонта дорожных покрытий, в разных странах различна. Следует отметить рост потребления этого вида материалов к 2001 г., по сравнению с 1995 г.

В среднем в 2001 г. количество модифицированных битумов, использованных в дорожном строительстве в европейских государствах, составило 7% (рис.2). Характер распределения объема потребления модифицированных битумов по видам модификаторов (рис.2) свидетельствует о том, что наибольшее применение находят полимеры: полиолефины (9%), EVA (12%), полибутадиен (14%), типа СБС (41%). Производство битумов, модифицирован-

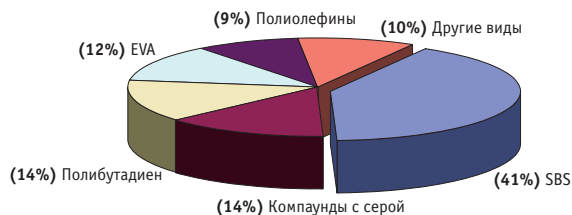
- а – при изготовлении асфальтобетонной смеси
- б – при хранении, транспортировке и укладке
- с – за 8 лет работы в составе асфальтобетонного покрытия



– рис. 1. Изменение индекса старения битума во время смешения с минеральным материалом при изготовлении горячих асфальтобетонных смесей, при хранении и транспортировке, при работе в составе дорожного асфальто-



Доля потребления модифицированных битумов в европейских государствах, в 2001 г.



Доля потребления битумов с разными видами модификаторов европейских государств в 1998 г.

—таб. 2.

ных полимерами типа СБС, в европейских государствах к 2001 г. возросло в среднем до 50% и составило, например, во Франции 80%, в Германии – 95%, в Испании – 65%, Бельгии – 80%, в Италии – 100% от всего объема изготавливаемых модифицированных битумов (сведения предоставлены фирмой «KRATON POLYMER»).

Рост объемов потребления дорожной отрасли полимеров типа СБС обусловлен их способностью не только повышать прочность битума, но и придавать полимерно-битумной композиции эластичность – свойство, присущее полимерам, причем при небольшой концентрации (3-5% от массы битума). Использование в рецептуре асфальтобетонной смеси битума, модифицированного полимером типа СБС, обеспечивает дорожному покрытию способность к быстрому снятию напряжений, возникающих в покрытии под

воздействием движущегося транспорта. В настоящее время за рубежом композиции битума с разным содержанием полимера типа СБС находят широкое применение для устройства дорожных одежд на искусственных сооружениях (мостах, дорожных развязках и пр.) и, как показывает опыт, обеспечивают длительные сроки работы покрытий, несмотря на особо сложные условия их эксплуатации. Кроме того, на основе полимеров типа СБС изготавливаются битумные мастики для разных видов дорожных ремонтных работ (залитки деформационных швов на мостах, трещин на асфальтобетонных покрытиях и др.), а также для герметизации площадок, предназначенных для сбора бытовых и др. отходов. Применению битумов, модифицированных полимером, предшествует в каждом конкретном случае технико-экономическое обоснование, поскольку стоимость моди-

фицированного битума намного превосходит стоимость битума.

Модифицирующий эффект от введения полимера в битум зависит от правильности проведения процесса приготовления полимерно-битумной композиции.

Анализ известных способов приготовления битумов, модифицированных полимерами, показывает, что все они предусматривают, как правило, повышенную температуру процесса (150-200°C) и интенсивное перемешивание компонентов. Температура разложения большинства используемых для модификации битумов полимеров (полиэтилена, полипропилена, этилен-пропиленовых каучуков, термоэластопластов и др.) значительно превышает температуру совмещения их с битумом. Следовательно, реакции термо- и механодеградации полимеров в массе битума не происходят, а если и имеют место, то протекают в очень незначительной степени.

Битумы при нагревании размягчаются, а термопластичные полимеры, независимо от того, были они кристаллическими или аморфными, переходят в вязкотекучее состояние. Таким образом, смесь полимера и битума при повышенной температуре представляет собой смесь двух жидкостей, различающихся по вязкости, а следовательно, процесс их смешения в основном должен сводиться к диспергированию жидкости в жидкости.

Известно, что степень дисперсности таких систем при прочих

Таблица 2

Доля модифицированных битумов в общем объеме дорожных битумов, используемых для строительства и ремонта дорожных покрытий в Европе по данным ЕАРА

Страна	Модифицированные битумы, %						
	1995г.	1996г.	1997г.	1998г.	1999г.	2000г.	2001г.
Австрия	8	8	8	8	Нет данных	11	Нет данных
Бельгия	3	7	13	12	16	15	18
Чехия	11	16	15	17	16	13	18
Дания	5	5	5	5	5	5	5
Финляндия	1	1	1	1	1	1	1
Франция	10	10	10	10	10	10	<10
Испания	5	4	8	5	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Голландия	~7	7	6	~6	7	7	7
Ирландия	3	5	5	7	7	8	10
Германия	7	8	8	9	8	Нет данных	14
Норвегия	2	2	1	2	<1	<1	3
Польша	7	-	6	7	6	6	6
Португалия	1	1	2	1	0	3	11
Словакия	Нет данных	13	12	Нет данных	Нет данных	Нет данных	20
Словения	3	5	6	7	9	8	9
Швейцария	5	5	Нет данных	5	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Швеция	2	2	3	2	3	3	2
Венгрия	4	3	4	4	1	1	10
Великобритания	4	Нет данных	4	4	Нет данных	Нет данных	5
Италия	3	4	5	6	7	7	7
Япония	7	7	7	10	10	11	11
США	5	5	4-5	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных

равных условиях определяется соотношением вязкости компонентов, а также взаимной растворимостью. В случае термодинамически несовместимых (нерастворимых или частично растворимых) компонентов предельный размер частиц в смеси зависит только от соотношения вязкостей и условий перемешивания, а смесь при повышенной температуре представляет собой эмульсию (рис.3). При приложении нагрузки к таким системам происходит деформация (вытягивание) капель полимера в массе битума по направлению действия силы, и в зависимости от молекулярной массы, пластичности полимера разрушение, дробление их на капли или вытягивание в нити (рис.4). Низкая вязкость полимера способствует лучшему диспергированию его в битуме. При повышении содержания полимера размер капель в массе битума возрастает, т. к. растет вероятность их коалесценции (слияния), приводящей к обращению фаз в системе. Так, этилен-пропиленовый каучук СКЭПТ-Э-30 образует непрерывную фазу в битуме при введении в количестве не менее 9% масс (рис.5).

Для взаимно растворимых компонентов степень дисперсности системы дополнительно возрастает за счет взаимодействия компонентов на границе раздела фаз. К таким полимерам относятся блоксополимеры типа СБС: KRATON D, ДСТ-30. Наличие в структуре стирол-бутадиен-стирольного полимера ароматических блоков обуславливает его сродство с нефтяным битумом, содержащим значительное количество ароматических соединений. В результате структура битумов, модифицированных полимером типа СБС, принципиально отличается от структуры битумных композиций с алифатическими полимерами. При температуре смешения (175-185°C) вследствие растворения полимера в малых количествах образуется гомогенная композиция, и, как показывают оптические исследования, однородная – при увеличении в 600 раз. Концентрационный предел взаимной растворимости компонентов (битума и полимера) снижается с увеличением молекулярной массы полимера. Так, при технологической температуре битум образует оптически однородные композиции с высокомолекулярным дивинил-стирольным термоэластопластом (M=150 000) при содержании последнего до 5% масс, в то время как с низкомолекулярным ДСТ-30 (M=45 000) – до 9% масс. При дальнейшем повышении концентрации ДСТ-30 в битуме происходит выделение в отдельную фазу асфальтосмолистой части битума,

не являющейся растворителем для полимера (рис.6).

Таким образом, процесс смешения при высокой температуре битума с полимерами любой химической природы протекает в две стадии: эмульгирование размягченного полимера в жидком битуме и последующее частичное (набухание) или полное растворение. Глубина процесса диспергирования полимера в битуме при прочих равных условиях определяется химической природой и молекулярной массой полимера, химическим составом битума, а также соотношением компонентов в смеси.

На практике для модификации свойств дорожных битумов должны использоваться полимеры, априори способные совмещаться с нефтяным битумом при повышенной температуре за минимальный период времени. Фирма «KRATON», например, специализирующаяся на производстве полимеров типа СБС, рекомендует для этих целей несколько марок: «KRATON D1101», «KRATON D1192», «KRATON D1116» и др.

Степень дисперсности полимерно-битумной композиции в значительной степени зависит и от способа смешения компонентов. Наилучшие результаты достигаются при использовании высокопроизводительных аппаратов – коллоидных мельниц, время пребывания компонентов при высокой температуре в которых минимально, что предотвращает старение битума и способствует созданию высокодисперсных систем, характеризующихся наиболее оптимальным комплексом физико-механических свойств. При проведении процесса приготовления битума, модифицированного полимером, в аппарате с мешалкой длительность процесса перемешивания компонентов достаточно велика и в зависимости от конструкции смесителя и количества вводимого полимера составляет до 5 и более часов, что, безусловно, оказывает негативное влияние на качество конечного продукта вследствие старения битума под воздействием высокой температуры в присутствии кислорода воздуха, а также приводит к образованию более грубых дисперсных систем.

Структура битумов, модифицированных рассмотренными выше видами полимеров, созданная при технологической температуре, как правило, сохраняется и после охлаждения. Это обусловлено резким увеличением вязкости приготовленного полимерно-битумного материала при понижении температуры, препятствующим расслоению дисперсной системы. Следовательно, понятие «совместимость полимеров с битумами» включает две состав-

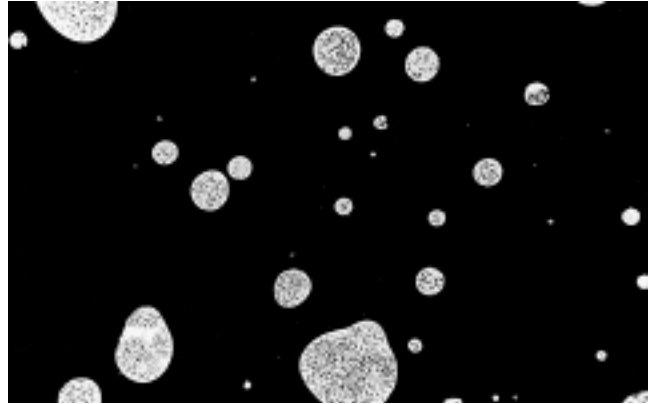


Рис. 3. Микроструктура композиций битума с 1% масс СКЭПТ-Э-30 при 200 и 25°C

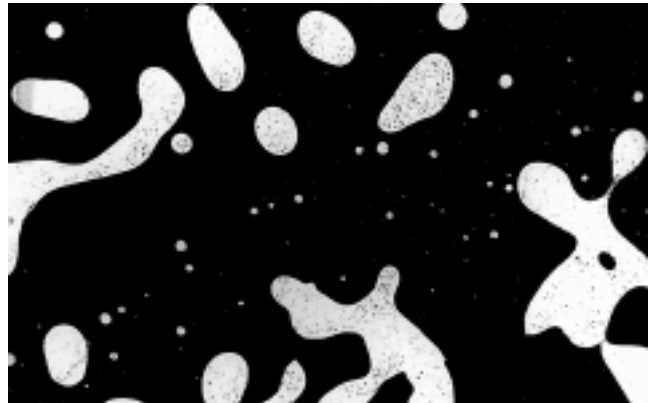


Рис. 4. Микроструктура композиций битума с 5% масс СКЭПТ-Э-30 при 200 и 25°C

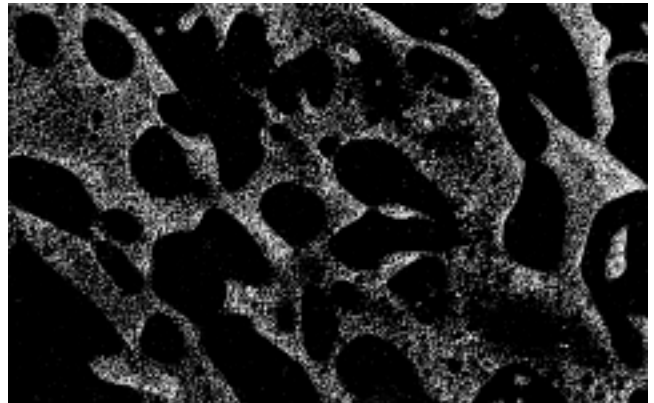


Рис. 5. Микроструктура композиций битума с 20% масс СКЭПТ-Э-30 при 200 и 25°C

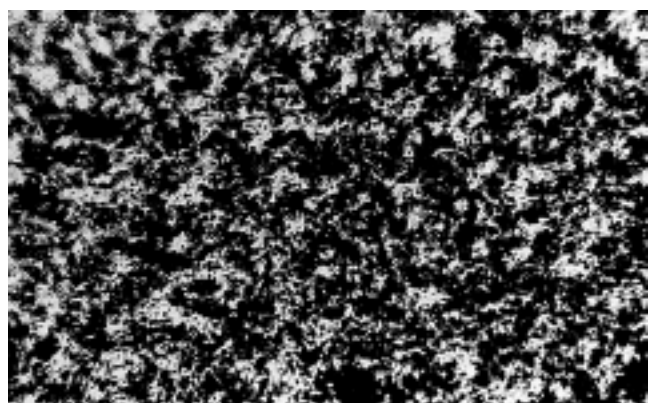


Рис. 6. Микроструктура композиции битума с 10% масс ДСТ-30 при 25°C

ные части: термодинамическую совместимость компонентов, а также совместимость на уровне двухфазных структур.

При комнатной температуре и в реальных условиях эксплуатации битумы, модифицированные полимерами, представляют собой, как правило, микро- или макро- неоднородные системы, т. е. являются композиционными материалами. Свойства их определяются фазовой структурой смеси, в частности механические – преимущественно, свойствами непрерывной фазы. Именно поэтому способностью придавать битуму эластичность (свойство, присутствующее в том числе и олефиновым полимерам, например полиэтилену, полипропилену, этилен-пропиленовому каучуку и др.) обладают лишь те полимеры, которые образуют непрерывную фазу в массе композиции. Роль полимера, образующего дисперсную фазу в массе битума, сводится лишь к упрочнению материала за счет наполнения его частицами. Варьируя видом, концентрацией полимера, можно получать композиционные материалы с заданным комплексом физико-механических свойств.

Качество битума не оказывает существенного влияния на характер модифицирующего действия полимеров, который обусловлен, преимущественно, химической природой полимера. Однако химический состав и структура битума влияют на совместимость с полимерами и свойства конечного продукта. С повышением степени окисленности битума совместимость его с полимерами любого химического строения и молекулярной массы ухудшается, что обусловлено увеличением содержания в битуме асфальтенов и высокомолекулярных смол, снижением количества масел и низкомолекулярных смол, которые принимают непосредственное участие в процессе растворения полимеров. Использование в качестве исходного сырья для приготовления полимерно-битумных композиций битумов, обогащенных ароматическими соединениями, благоприятствует совместимости компонентов, что согласуется с известными положениями теории физической химии полимеров и обусловлено лучшей растворимостью полимеров в ароматических соединениях.

Свойства композиций, приготовленных в одинаковых технологических условиях из разных по химической природе битумов (БДУ – из тяжелой ярегской нефти; БДУС – из смеси западно-сибирских нефтей) при использовании полимера KRATON D 1101 (фирмы «SHELL»), различны (таблица 3). Введение полимера приводит к резкому снижению

значений показателя растяжимости битума при 25°C. За счет более высокой способности к растяжению битума марки БДУ композиция последнего с KRATON D 1101 характеризуется также более высокими значениями показателя растяжимости, по сравнению с материалом, приготовленным на битуме марки БДУС. Для придания битуму, модифицированному полимером, способности выдерживать без разрушения растягивающие усилия в реальных условиях эксплуатации дорожных покрытий в качестве исходного сырья для приготовления полимерно-битумной композиции следует применять битумы, характеризующиеся высоким уровнем значений показателя растяжимости при 25°C (более 100 см) как до, так и после смешения с минеральным материалом.

За счет лучшей растворимости в массе битума дорожного улучшенного марки БДУ полимер типа СБС способен в несколько большей степени реализовать присущую ему эластичность. Этим же объясняется и более высокая вязкость композиции полимера с битумом, полученным из остатков переработки тяжелой ярегской нефти.

Битумы, модифицированные полимерами (в том числе и блоксополимерами), являются дисперсными (неоднородными) системами, а следовательно, термодинамически неустойчивыми, что является причиной их расслоения (разрушения), особенно при повышенной температуре в статических условиях (в отсутствие перемешивания). Чем выше сродство полимера к битуму, чем выше степень дисперсности полимера в массе битума, тем выше устойчивость композиционного материала к расслаиванию. Вследствие худшей совместимости компонентов композиция, приготовленная на битуме марки БДУС с полимером KRATON D 1101, характеризуется наибольшим различием в значениях показателя температуры размягчения верхнего и нижнего слоев массы композиции (таблица 3) после испытания на термостабильность в статических условиях, по сравнению с битумом марки БДУ, модифицированным равным количеством этого же полимера, приготовленным в идентичных условиях.

При использовании высокоэффективных смесителей, позволяющих достичь более высокой степени дисперсности полимера в битуме, устойчивость композиционных материалов к расслаиванию возрастает (температура размягчения массы полимерно-битумного вяжущего в верхнем и нижнем слоях после термостатирования практически

одинакова), вот почему за рубежом приготовление полимерно-битумных материалов осуществляется с помощью коллоидных мельниц.

Для обеспечения заданного качества товарной продукции, достижения максимальной эффективности от ее использования в дорожном строительстве нормативные требования к битумам, модифицированным полимерами, обязательно должны предусматривать контроль не только за однородностью свежеприготовленной композиции, но и за устойчивостью к расслаиванию при повышенной температуре. Учитывая тот факт, что полностью предотвратить расслоение композиции битума с полимером типа СБС на стадии хранения при повышенной температуре невозможно, необходимо лимитировать длительность хранения, а также осуществлять механическое перемешивание массы изготовленной товарной продукции на стадии хранения.

В связи с тем, что механизм распределения в битуме полимера заключается в растворении последнего в мальтеновой части битума, на первый взгляд кажется, что для достижения наилучшей совместимости компонентов необходимо увеличить количество масляных компонентов в битуме, например за счет дополнительного введения минеральных масел. Однако следует напомнить, что нефтяные дорожные битумы, как коллоидные системы, также термодинамически неустойчивы во времени. Введение масел приводит к нарушению относительной стабильности структуры битума, сформировавшейся на стадии изготовления последнего. В зависимости от химической природы соединений, входящих в состав минерального масла, последнее может являться хорошим или плохим растворителем по отношению к битуму. Кроме того, уместно напомнить, что процесс совмещения битума с минеральным маслом не так прост, поскольку механизм его также заключается в смешении жидкостей, различающихся по вязкости. Следовательно, получение при повышенной температуре гомогенной массы на основе нефтяного битума и минерального масла само по себе представляет непростую технологическую задачу. Использование полимерно-масляных концентратов в качестве исходного компонента для приготовления модифицированного битума не упрощает процесс получения материала с заданным комплексом физико-механических свойств, в том числе и по причине переменного (от партии к партии) качества исходного битума, поступающего на предприя-

тия дорожной отрасли нашей страны.

Использование пластификаторов (масел) на стадии приготовления битумов, модифицированных полимерами, не только не повышает устойчивость последних к расслаиванию, но и способствует разрушению вяжущего в составе дорожного покрытия, вследствие выпотевания (отторжения) масел, в первую очередь, введенных дополнительно. Для получения полимерно-битумных материалов, характеризующихся более высокой пластичностью, целесообразно использовать в качестве исходного сырья битумы с более высокими значениями показателя глубины проникания иглы при 25°C, что имеет место в зарубежной практике.

Таким образом, битумы, модифицированные полимерами, представляя собой композиционные материалы, структура и свойства которых при прочих равных условиях зависят от вида и концентрации полимера, марки битума, а также от технологии смешения компонентов.

Для получения модифицированных битумов с заданным комплексом свойств в каждом конкретном случае необходимо осуществлять правильный выбор полимерного модификатора, битумного сырья, выполнять комплекс лабораторных работ по оптимизации рецептуры композиционного материала. Для обеспечения стабильности структуры и свойств битума, модифицированного полимером, при изготовлении разных партий товарной продукции следует использовать полимер и

битум постоянного качества, а также строго соблюдать технологический регламент процессов приготовления и хранения модифицированного битума.

Анализ зарубежного и отечественного опыта применения битумов, модифицированных полимерами, показывает принципиальные отличия в подходах к выбору исходных компонентов, к проектированию составов полимерно-битумных вяжущих, к регламентированию комплекса физико-механических свойств ПБВ, к выбору объектов, на которых наиболее целесообразна замена битума дорожного на новый вид вяжущего.

Для объективной оценки зависимости долговечности дорожных покрытий, работающих в сложных климатических условиях Санкт-Петербурга, от вида нефтяного вяжущего, используемого в составе горячей асфальтобетонной смеси, в 1998 г. было проведено опытное строительство участков дорожного покрытия на особо грузонапряженных трассах: Северном проспекте, Дворцовом проезде, а также на Гакелевской улице, с применением битума дорожного улучшенного марки БДУ 70/100 (производства Ухтинского НПЗ) и полимерно-битумного вяжущего. В качестве производителя полимерно-битумного вяжущего был выбран концерн «КОСМОС» (г. Москва), имеющий опыт по устройству дорожного покрытия с применением полимерно-битумного вяжущего на кольцевой дороге в Москве. ПБВ изготавливалось в соответствии с требованиями ОСТ 218.010-98

на промышленной установке концерна «КОСМОС» и доставлялось в Санкт-Петербург битумовозами. Процесс производства и укладки горячих полимер-асфальтобетонных смесей курировался представителями концерна «КОСМОС» и ФГУП «СоюздорНИИ».

Визуальный осмотр, проведенный в 2002 г., показал, что состояние дорожных покрытий на опытных участках Дворцового проезда и Гакелевской улицы, устроенных с применением ПБВ и битума марки БДУ, удовлетворительное. Независимо от вида использованного нефтяного вяжущего, на дорожном покрытии появились отдельные продольные и поперечные трещины, а также разрушения вокруг колодцев (по сравнению с 2001 годом, количество разрушений увеличилось). На всех остановках общественного транспорта, где под верхний слой асфальтобетона укладывалась армирующая сетка «Хателит», наблюдается незначительная колея по полосам наката, которая, по сравнению с 2001 годом, также несколько увеличилась.

Асфальтобетонное и полимерасфальтобетонное покрытие на опытных участках, устроенных на Северном проспекте, находится в хорошем состоянии: трещин и разрушений нет, перед перекрестком с ул. Есенина в зоне торможения пластические деформации отсутствуют. Наблюдается равномерный незначительный износ покрытия по полосам наката.

По истечении 4 лет эксплуатации в одинаковых условиях принципиальных различий в состоя-

Свойства композиций битумов разной химической природы, приготовленных с использованием полимера KRATON D 1101 (5% масс)

Таблица 3

Наименование показателя	Свойства модифицированных битумов, приготовленных на:		
	БДУ 70/100	БДУС 70/100	
Глубина проникания иглы, мм 10-1, при:	25°C	57	54
	0°C	29	27
Температура размягчения, °C		82	86
Растяжимость, см, при:	25°C	94	60
	0°C	48	28
Эластичность при 25°C, %:	через 3 мин. после разрыва	77	60
	по п. 7.2.2 ОСТ 218.010*	89	89
Кинематическая вязкость при 135°C, Сст		1710	1588
Однородность		Однородно	Однородно
Температура хрупкости, °C		- 27	- 27
Температура вспышки, °C		286	275
Сцепление с:	гранитом	Не удовл.	Не удовл.
	габбродиабазом	Контр.обр. №1-2	Контр.обр. №1-2
Стабильность температуры размягчения, °C		15	29
После испытания по методике ASTM D 2872:			
Остаточная пенетрация, % от исходного значения		82	83
Растяжимость при 25°C, см		84	52
Эластичность при 25°C, %	через 3 мин. после разрыва	67	51
	по п. 7.2.2 ОСТ 218.010*	87	83



нии покрытий на основе битума марки БДУ и ПБВ не обнаружено. Обращает на себя внимание тот факт, что ПБВ не повысило устойчивость дорожного покрытия к различного рода пластическим деформациям, не предохранило верхний слой покрытия от образования трещин, как отраженных, так и другого характера появления, причиной которых является состояние инженерных сетей и недостаточная несущая способность конструкции дорожной одежды.

Таким образом, по результатам четырехлетнего наблюдения за состоянием полимер-асфальтобетонных покрытий пока не представляется возможным сделать вывод об эксплуатационных преимуществах полимерно-битумного вяжущего, по сравнению с битумом марки БДУ, а следовательно, и целесообразности замены битума БДУ на полимерно-битумное вяжущее для устройства дорожных покрытий на грузонапряженных трассах г. Санкт-Петербурга.

На сегодняшний день одной из важнейших задач, стоящих перед дорожниками Санкт-Петербурга, является повышение срока службы дорожных покрытий на мостах, приведение в порядок трамвайных путей. Условия работы дорожного покрытия на указанных объектах намного более сложные, чем на обычных адресах, в связи с постоянным пребыванием материала под воздействием вибраций, усилий сдвига, растяжения, сжатия и пр. Как показывает опыт Санкт-Петербурга (Финляндии, Германии и др. государств), в таких случаях технически и экономически оправдано применение битумов, модифицированных полимером типа СБС.

В 1999 г. на ОАО «АБЗ-1» (Санкт-Петербург) была введена в эксплуатацию установка по модификации битума периодического действия, разработанная научно-конструкторским бюро Минэкономики РФ. По технологии ЦНКБ модификация битума полимером осуществляется в двух смесителях объемом 2,5 т каждый. Для гомо-

генизации смеси конструкцией предусмотрены перемешивающие устройства: рама (48,9 об./мин), шнек (34,5 об./мин), а также циркуляция. Окончание процесса приготовления полимерно-битумного вяжущего определяется визуально путем оценки однородности массы при температуре смешения (175-180°C).

В 1999 г. были выпущены по рецептуре, предложенной ЦНКБ, опытные партии полимерно-битумного вяжущего марки ПБВ-90 на основе битума марки БНД 60/90, полимера ДСТ-30 и индустриального масла, которые уложены на Ждановской набережной напротив Петровского стадиона и повороте на Малый проспект.

Анализ физико-механических характеристик ПБВ в пробах, отобранных из опытных партий товарной продукции, показал нестабильность свойств полученного материала, в ряде случаев даже несоответствие требованиям ОСТ 218.010-98. Из-за различия свойств исходных компонентов, поступающих на асфальтобетонный завод (в частности, разных партий битума и ДСТ-30), возникали сложности при проектировании в лаборатории АБЗ рецептуры полимерно-битумного вяжущего, полимер-асфальтобетонной смеси, а также с распределением полимера в массе битума в промышленном смесителе в течение времени перемешивания компонентов, рекомендованном Технологическим регламентом (3-4 часа).

Для обеспечения стабильности качества товарной продукции возникла необходимость в разработке оптимальной рецептуры битума, модифицированного полимером, и в корректировке технологического режима его приготовления.

Учитывая то, что битум дорожный, изготавливаемый из остатков переработки тяжелой нефти Ярегского месторождения (Республика Коми), характеризуется не только стабильностью значений показателей физико-механических свойств в разных промышленных партиях товарной продукции, но и большей растяжимостью, а также повышенной термостабильностью в условиях изготовления горячих асфальтобетонных смесей (по сравнению с битумом марки БНД 60/90), представлялось целесообразным произвести замену битума марки БНД 60/90 в рекомендованной ранее рецептуре полимерно-битумного вяжущего на битум дорожный улучшенный марки БДУ 70/100. В качестве полимерного модификатора для дальнейших работ по выпуску на установке ОАО «АБЗ-1» битума, модифицирован-

ного полимером, был выбран полимер «KRATON D1101», широко используемый для этих целей за рубежом. Комплекс показателей физико-механических свойств указанного полимера как товарного продукта фирмы «KRATON» определенного назначения обуславливает стабильность качества и предопределяет способность его к образованию с нефтяными битумами при температуре 175-180°C гомогенных композиций.

С целью получения максимальной отдачи от введения в битум дорожностойкого полимера корректировке были подвергнуты и нормативные требования к битуму, модифицированному полимером. В 2000 г. были разработаны, а в 2001 году зарегистрированы в органах Госстандарта ТУ 0256-002-03218295-2001 на битум, модифицированный полимером (марки БМП).

В связи с тем, что полимер СБС способен придавать битуму эластические свойства, представлялось целесообразным ужесточить требования к показателю эластичности, по сравнению с требованиями ОСТ 218.010-98: для БМП эластичность определяется через 10 минут, а не после полного прекращения сокращения образца ПБВ, подвергнутого испытанию на растяжимость на дутилометре. Повышенная эластичность вяжущего обуславливает практически моментальное эластическое восстановление дорожного покрытия после снятия прилагаемой нагрузки до ее повторного приложения, а следовательно, создает предпосылки для повышения долговечности дорожного покрытия.

Для изготовления битумов, модифицированных полимером, способных работать в условиях воздействия разных по виду и величине прилагаемых нагрузок, в ТУ включены несколько марок БМП, различающихся значениями таких показателей качества, как глубина проникновения иглы, температура размягчения и др. За основу взяты нормативные требования к качеству модифицированных битумов зарубежного производства. Для обеспечения практической возможности изготовления в условиях асфальтобетонного завода модифицированных битумов разных марок предусмотрено использование в рецептуре композиционного материала специальной добавки, обладающей химическим средством к битуму дорожному улучшенному – БДУ.

В августе 2000 г. ОАО «АБЗ-1» выпустило в соответствии с ТУ 0256-002-03218295-2001 первую опытную партию вяжущего марки БМП-65 и на его основе изготовило полимерасфальтобе-

тонную смесь. Для отработки технологии укладки смеси с новым видом нефтяного вяжущего в качестве объекта был выбран участок протяженностью 120 м на ул. Бадаева, интенсивность движения по которой не велика. При осмотре опытного участка в 2002 г. разрушений покрытия не обнаружено.

Основным направлением использования битума, модифицированного полимером типа СБС, отработкой технологий изготовления и применения которого, начиная с 2000 г., занимается ОАО «АБЗ-1», является применение его в составе литого асфальтобетона. В 2000 г. было изготовлено 47,5 т БМП, литым асфальтобетоном отремонтированы трамвайные пути по ул. Расстанной (опытный участок 70 м), ул. Инженерной (от здания цирка до Садовой ул.), Большому Сампсониевскому проспекту, Заневскому проспекту до моста Александра Невского и др. Для оценки работоспособности литого асфальтобетона, приготовленного с использованием битума, модифицированного полимером, в более жестких условиях эксплуатации в 2000 г. отремонтированы трамвайные пути на Сампсониевском мосту. При осмотре указанных выше объектов в 2002 г. разрушений не обнаружено.

В 2001 г. для проведения работ по устройству гидроизоляции и дорожного покрытия по металлической ортотропной плите на разводной части моста Александра Невского в зоне проезжей части трамвайных путей и тротуаров ОАО «АБЗ-1» совместно с финскими специалистами фирмы «Леминкяйнен» были использованы литые асфальтобетонные смеси и мастики, изготовленные на основе битума, модифицированного полимером, отвечающего требованиям ТУ 0256-002-03218295-2001. По результатам лабораторных исследований, проведенных финскими специалистами в Финляндии, битум, модифицированный полимером марки БМП в пробах, отобранных из опытных партий, изготовленных на промышленной установке ОАО «АБЗ-1», и литые асфальтобетонные смеси на его основе, полностью отвечали требованиям финских норм. По мнению финских специалистов, применение полимерно-битумного вяжущего позволяет обеспечить гарантийный срок службы покрытия на мосту в течение 3 лет.

В 2002 г. ОАО «АБЗ-1» совместно с немецкой фирмой «FLH Consult G&R» проводило работы по гидроизоляции Троицкого моста через реку Нева. На разводной части моста дорожная одежда была устроена по ортотропной металлической плите (предвари-

тельно обработанной эпоксидным праймером) из 2 слоев литого асфальтобетона, изготовленного на промышленной установке ОАО «АБЗ-1» на битуме, модифицированном полимером марки БМП-85 (ТУ 0256-002-03218295-2001). На стационарных пролетах моста литой асфальтобетон на основе БМП использовался как защитный слой. Гарантийные обязательства ОАО «АБЗ-1» на дорожную одежду разводной части моста составляют 3 года, а на гидроизоляцию – 10 лет.

В 2002 г. литые асфальтобетонные смеси применялись также для ремонта трамвайных путей (по ул. Садовой, ул. Б. Дворянской, Среднему проспекту, Каменноостровскому проспекту, Московскому проспекту (угол Обводного канала), площади Восстания, площади Труда, Сенной площади), для устройства покрытий технологических проходов на Автовском путепроводе. Общий объем выпуска БМП на установке ОАО «АБЗ-1» в 2002 г. составил около 315 т.

Одним из перспективных направлений применения битума, модифицированного полимером (марки БМП), является использование в качестве вяжущего при изготовлении щебнемастичных асфальтобетонных смесей (SMA), дорожное покрытие из которых характеризуется повышенной прочностью. Щебнемастичный асфальтобетон широко применяется в верхних слоях дорожных покрытий в Швеции, Норвегии и других странах.

Возрастающий спрос на битум, модифицированный полимером, марки БМП для устройства и ремонта дорожных покрытий на объектах Санкт-Петербурга, обусловлен положительными результатами опытного использования этого вида нефтяного вяжущего в сложных условиях эксплуатации.

Трехлетний опыт производства БМП на промышленной установке ОАО «АБЗ-1» показал, что работоспособность БМП в составе дорожного покрытия зависит от:

- качества исходных материалов;
- соблюдения рецептуры;
- квалификации обслуживающего персонала;
- соблюдения технологических режимов приготовления и хранения.

Специалисты ОАО «АБЗ-1» отмечают, что установка ЦНКБ по приготовлению битума, модифицированного полимером, далека от идеальной модели устройства по приготовлению такого вида композиционного материала для промышленного использования. При этом указывают, что при хранении БМП в статических условиях (без перемешивания) при температуре 150-200°C (техноло-

гических температурах изготовления полимерно-битумного вяжущего и укладки литых асфальтобетонных смесей) наблюдаются необратимые изменения в структуре вяжущего, происходит расслоение ("желатинизация") массы вяжущего вблизи нагревательных элементов, приводящие к ухудшению физико-механических свойств (снижению значений показателей глубины проникания иглы, температуры размягчения, растяжимости, эластичности). В течение первых суток изменения незначительны и после интенсивного перемешивания могут быть устранены с малым ущербом для качества. При более длительном хранении процесс разрушения структуры БМП становится необратимым.

Таким образом, выводы, сделанные производителями и потребителями промышленных партий битумов, модифицированных полимером типа СБС, полностью совпадают с заключениями, сформулированными российскими и зарубежными учеными на основании результатов научных исследований структуры и свойств этого вида нефтяного вяжущего. При работе с битумами, модифицированными полимерами, нельзя не учитывать особенности их структуры и свойств. Игнорирование этих знаний приведет к снижению эффективности использования полимеров в качестве модифицирующих добавок к битуму, получению некачественных полимерно-битумных материалов, а следовательно, и к неоправданным затратам вследствие применения дорогостоящих полимеров в такой материалоемкой отрасли, как дорожное строительство. При выборе промышленной установки по производству полимерно-битумных вяжущих следует руководствоваться не только соображениями ценовой политики, но и техническими, технологическими возможностями установки, которые должны обеспечивать минимальное влияние на качество товарной продукции известных факторов риска.

