

УДК 665.775.4

DOI: 10.15372/KhUR2021281

Изучение влияния адгезионной присадки на пластичность битумов дорожного назначения и физико-механические свойства асфальтобетонных смесей

И. И. МУХАМАТДИНОВ, П. С. ФАХРЕТДИНОВ, А. Ф. КЕМАЛОВ, Р. Э. МУХАМАТДИНОВА

Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань (Россия)

E-mail: iimuhamatdinov@gmail.com

(Поступила 30.07.20; после доработки 03.09.20)

Аннотация

Современный уровень развития автомобильного транспорта характеризуется высокой интенсивностью движения грузовых транспортных средств и ростом динамических нагрузок на дорожное покрытие. Актуальной задачей остается повышение качества дорожного битума через поиск новых технико-технологических решений для достижения высоких физико-механических характеристик асфальтобетонных покрытий и обеспечения их долговечности. Рассмотрено влияние катионоактивной адгезионной присадки на интервал пластичности окисленного и неокисленного битумов. Исследованы физико-механические свойства асфальтобетонных смесей, приготовленные на основе битумов, модифицированных присадкой в различных концентрациях. Разработана технология получения модифицированного битумного вяжущего с участием адгезионной присадки. На основе битума марки БНД 60/90 выпущена опытная партия модифицированного присадкой битума (40 т), произведена укладка опытного участка дорожного полотна общей площадью 7900 м² в г. Набережные Челны (Республика Татарстан, Россия), осуществлен авторский надзор за состоянием опытного участка дороги.

Ключевые слова: адгезионная присадка, модифицированный битум, асфальтобетонная смесь, интервал пластичности, физико-химические свойства

ВВЕДЕНИЕ

Дорожная инфраструктура – жизненно важная система, влияющая на экономику государства. В связи с этим существует прямая зависимость между транспортно-эксплуатационным состоянием покрытий автомобильных дорог и динамикой промышленного развития страны, которая обуславливает постоянный рост интенсивности и грузонапряженности дорожного движения. Актуальной задачей остается улучшение физико-механических характеристик асфальтобетонных покрытий и обеспечение их долговечности путем повышения качества дорожного битума. Одним из существенных недостатков производимых нефтяных битумов явля-

ется их низкая сцепляемость с поверхностью минеральных материалов, приводящая к сокращению срока службы конструкций [1, 2]. Так, при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий с помощью наливных мастик дорожного назначения качество и долговечность в значительной степени зависят от прочности сцепления мастики с минеральным наполнителем и с материалом дорожного покрытия.

Дорожные битумы, как правило, содержат поверхностно-активные соединения – асфальтогеновые кислоты и их ангидриды. В случае их достаточного количества обеспечивается удовлетворительная адгезия битумов с сухой поверхностью минеральных материалов кислых и основных пород. С целью улучшения адгезии

битума к каменным материалам вводятся адгезионные присадки, представляющие собой поверхностно-активные вещества (ПАВ) [4]. Одна из важнейших особенностей поверхностно-активных веществ (ПАВ) заключается в способности их молекул прочно связываться с поверхностями тел, т. е. адсорбироваться на этих поверхностях, покрывая последние тонким слоем [3]. Количество используемого для этой цели ПАВ невелико, однако такое покрытие резко изменяет свойства поверхности.

Молекулы ПАВ концентрируются на поверхности раздела “битум – каменный материал”. Адгезионные присадки действуют как мост или клей между битумом и поверхностью каменного материала, оказывая сопротивление вытесняющему действию воды.

Введение в битум даже небольшого количества ПАВ понижает поверхностное натяжение на границе “битум – минеральный материал”, чем облегчает смачивание таких материалов битумом. Поверхностно-активное вещество адсорбируется на поверхности минеральных зерен на месте раздела фаз, что снижает избыток межфазной поверхностной энергии. Адгезионные присадки позволяют также повысить качество асфальтобетона и положительно влияют на технологический процесс приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей [5].

В основе механизма присадочного действия ПАВ лежат процессы химической и физической адсорбции с ориентацией дифильных молекул полярными группами к поверхности дисперсной минеральной фазы, а неполярными группами – в дисперсионную среду (расплавленный битум). При этом преобладание химической адсорбции наиболее предпочтительно, так как молекулы ПАВ, химически связанные с поверхностью, почти не десорбируются и обеспечивают адсорбционное насыщение межфазного слоя при меньших расходах. На химически инертной части поверхности физическая адсорбция имеет дополнительное значение для обеспечения уплотнения адсорбционного межфазного слоя. Кроме того, физически адсорбируемые молекулы ПАВ образуют диффузную часть межфазного объема, а также обеспечивают увеличение его толщины и энергии межмолекулярных взаимодействий дисперсионной среды битума с углеводородными фрагментами адсорбированных ПАВ.

Эффективность адгезионных присадок связана с амфолитностью индивидуальных полярных групп или композиций ПАВ и химической структурой неполярной части этих ПАВ для

обеспечения наиболее сильных взаимодействий их с поверхностью дисперсной фазы и объемом дисперсионной среды [6].

Существует несколько методик определения адгезии битума к минеральным материалам. Наиболее распространен качественный (визуальный) метод по ГОСТ 11508–74. К его преимуществам относятся минимальные трудозатраты и хорошая воспроизводимость результатов, к недостаткам – трудоемкость, длительность и дискретность результатов. На базе стандартного метода предложен количественный метод [7], основанный на весовом определении массы битума, который остается на поверхности минерального материала после кипячения битумно-минеральной массы в воде.

Авторами [8] предложены количественные методы определения адгезии, которые базируются на способности минеральных материалов адсорбировать полярные молекулы красителя метилового голубого, а также на радиоактивном методе измерения избирательной адсорбции солей двухвалентных металлов. Недостатки этих методов – дороговизна и длительность измерений (1,5–2 ч).

Адгезионные свойства битума зависят от полярности его компонентов, а также от вида ПАВ. Поэтому к еще одному параметру адгезии можно отнести диэлектрическую проницаемость, которая отражает силы взаимодействия между зарядами в данной среде по отношению к вакууму. Этот показатель может косвенно характеризовать наличие полярных групп в битуме, а следовательно, и адгезионные свойства. Диэлектрометрия – совокупность методов количественного определения веществ и исследования их молекулярной структуры, основанных на измерении диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Диэлектрические свойства изучают в постоянном и переменном (с частотой до 10¹² Гц) электрических полях [9].

Таким образом, адгезию битума к поверхности минерального материала можно определять либо качественными, либо количественными методами. По результатам они не противоречат друг другу, тем не менее количественные методы являются более объективными.

В дорожном строительстве могут применяться различные ПАВ: анионные, катионные, неионогенные. Наиболее эффективными адгезионными присадками являются катионные ПАВ на основе азотсодержащих химических соединений – имидазолинов, амидоаминов, аминов. Большая часть зарубежных и российских компаний выпускают

адгезионные добавки на этой основе. Однако специалисты дорожной отрасли, оценивая адгезионные и другие эксплуатационные характеристики таких присадок, часто высказывают нарекания в связи с их неприятным запахом, который зависит от применяемого сырья [10].

Для повышения сцепления битума с минеральными материалами используются следующие адгезионные добавки: имидазолины (амидо-, бис-, алкил-); полиамидное волокно; соединения, содержащие аминные группы (гексаметилентетрамин, триэтаноламин, анилиновая смола). Использование битумов с участием имидазолинов в составе асфальтобетонов позволяет повысить коэффициент водостойкости с 0,85 до 1,2, также улучшаются и другие физико-механические характеристики асфальтобетона. При применении присадок на основе имидазолинов возможно производство дорожных работ в самых неблагоприятных условиях (например, асфальтирование территорий химических предприятий, пропитанных органическими продуктами) [11, 12].

Однако широкое внедрение катионоактивных адгезионных присадок в практику дорожного строительства сдерживается ограниченными возможностями по их производству и дефицитностью сырьевых ресурсов, а значит и высокой ценой. Стоимость даже отечественных адгезионных добавок находится на уровне 100–160 тыс. руб. за тонну.

Находясь в горячем битуме, адгезионные присадки со временем теряют свою активность, поэтому добавки лучше всего вводить на позд-

ней стадии процесса [13]. Эта потеря активности обусловлена реакцией между щелочным амином и кислотными компонентами битума. Следует не допускать перегрева модифицированного битума, так как это может повлиять на эффективность присадки.

Для хранения адгезионных присадок необходимо использовать емкости из углеродистой стали с целью предотвращения коррозии, поскольку многие из них являются крайне коррозионно-активными. Некоторые ПАВ проявляют высокую токсичность по отношению не только к организму человека, но и к водным организмам (рыбы, дафнии и водоросли) [14].

Цель работы – исследование влияния катионоактивной адгезионной присадки на интервал пластичности окисленного и неокисленного битумов, а также разработка технологии получения модифицированного адгезионной присадкой битумного вяжущего и исследование физико-механических свойств асфальтобетонных смесей на его основе с опытного участка дорожного покрытия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом для исследований послужили битумы: окисленный (производство ОАО “ТАИФ-НК”, Россия) и неокисленный (производство Елховское НПУ НГДУ “Елховнефть”, Россия), физико-химические свойства которых представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Физико-химические свойства битумов

Показатель	ГОСТ 22245–90	Образцы битумов	
		Окисленный (ОАО “ТАИФ-НК”) БНД 60/90	Неокисленный (Елховское НПУ) БНН 80/120
Глубина проникания иглы, 0,1 мм:	не менее		
при 25 °С	61–90	79	85
при 0 °С	20	23	16
Температура размягчения по КиШ ^а , °С	не ниже 47	48	45
Растяжимость, см:	не менее		
при 25 °С	55	79	>150
при 0 °С	3,5	3,6	7,5
Температура хрупкости по Фраасу, °С	не выше –17	–18	–16,8
Индекс пенетрации	от –1 до +1	–0,5	–1,3
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	не более 5	5	8,2

^а Метод определения по кольцу и шару.

ТАБЛИЦА 2

Физико-химические характеристики катионоактивной адгезионной присадки «Адгезолин» (ТУ 0257-007-02066730-2013).

Наименование показателей	Норма по ТУ	Метод испытаний
Внешний вид	Вязкая медообразная масса	Визуально
Цвет	От светло-желтого до темно-бурого	Визуально
Запах	Слабый, характерный	Органолептически
Плотность при 20 °С, г/см ³	0.9500–0.9550	ГОСТ 3900–85
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	138.0–139.5	ГОСТ 33–2000
Содержание основного вещества, %, не менее	98.5	п. 7.4 (ТУ 0257-007-02066730–2013)
Содержание летучих веществ, кипящих до температуры 130 °С, %, не более	1.5	п. 7.5 (там же)
Сцепление (адгезия) битума с мрамором и песком	Пять баллов	ГОСТ 12801–98

В качестве добавки в битум дорожного назначения разработана адгезионная присадка «Адгезолин» [15–21], физико-химические характеристики которой представлены в табл. 2.

Испытания физико-механических свойств асфальтобетонных смесей на основе битумных вяжущих проводились по нормативному документу ГОСТ 12801–98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» в соответствии с ГОСТ 9128–97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение интервала пластичности

Асфальтобетонные покрытия – это объекты, в которых битумы подвергаются наиболее высоким деформациям. Это явление особенно заметно проявляется в связи с повышенной интенсивностью и грузонапряженностью автомобильного движения. Обеспечить релаксацию, возникающую в покрытиях в виде циклических деформаций, можно введением в битум различного рода модифицирующих добавок.

В нормативной документации на дорожные битумы температурная зависимость их реологических свойств отражается температурой размягчения ($t_{\text{разм}}$) и температурой хрупкости по Фраасу ($t_{\text{хр}}$).

Интервал пластичности (ИП, °С) вычисляется по формуле:

$$\text{ИП} = t_{\text{разм}} - t_{\text{хр}} \quad (1)$$

Чем ниже $t_{\text{хр}}$ и выше $t_{\text{разм}}$ (т. е. шире ИП) тем вяжущее для асфальтобетонных смесей более предпочтительно. Поэтому весьма важной оценкой качества битума служит его рабочий ИП, вычисляемый по формуле (1).

С целью исследования влияния присадки «Адгезолин» на ИП битума проведены измерения температур его размягчения и хрупкости.

Отметим, что в Татарстане минимальные температуры воздуха зимой достигают –40 °С, максимальные летние – более 30 °С, т. е. требуемый ИП вяжущих составляет более 70 °С, в то время как ИП для битумов марок БНД редко превышает 65 °С, а для марки БНН – 55 °С. Как видно из данных, представленных на рис. 1, ИП модифицированного вяжущего заметно выше, чем у исходного битума, и продолжает увеличиваться при введении в битум адгезионной присадки. На наш взгляд, это обусловлено, прежде всего, менее вязкой дисперсионной средой вяжущего.

Так, ИП для исходного окисленного битума равен 73.7 °С, а для вяжущего с содержанием адгезионной присадки «Адгезолин» 0.6, 0.8 и 1.0 мас. % – 75.3, 78.5 и 79.1 °С соответственно (см. рис. 1). Таким образом, показано, что модифицированный битум в зависимости от количества вводимой присадки может иметь необходимый ИП для любого региона России.

Соответствующие расчеты были проведены и для неокисленного битума. В частности, ИП для исходного неокисленного битума равен 61.7 °С, а при содержании присадки «Адгезолин» 0.8, 1.0, 1.2 мас. % – 63.2, 65.2 и 66.6 °С соответственно (рис. 2).

$$\text{Var3} = -155.8709 + 15.8156x + 5.3179y + 1.5126x^2 - 0.227xy - 0.0298y^2$$

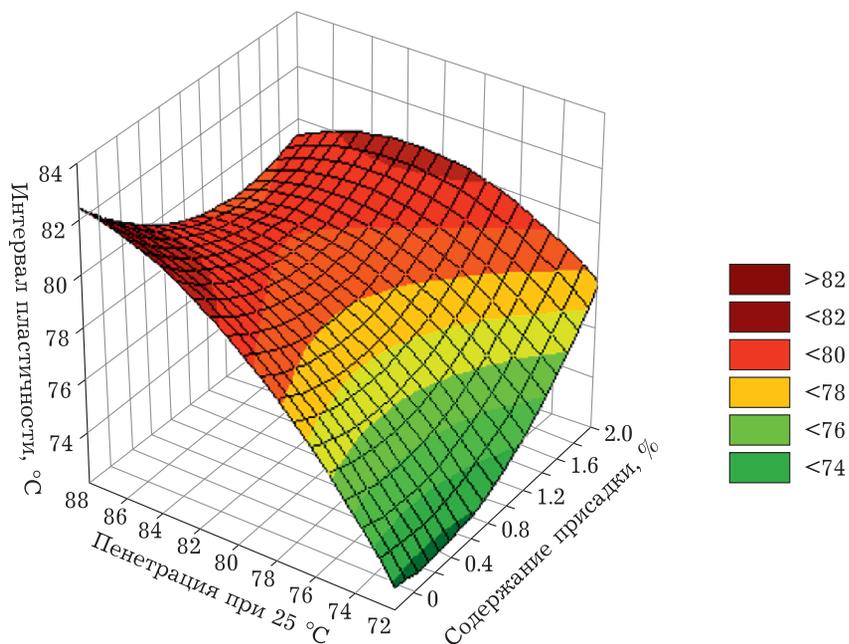


Рис. 1. Зависимость интервала пластичности и пенетрации окисленного битума производства ОАО «ТАИФ- НК» от содержания присадки в битуме.

$$\text{Var3} = 697.3292 + 8.0588x - 13.0017y - 10.0777x^2 + 0.2019xy + 0.065y^2$$

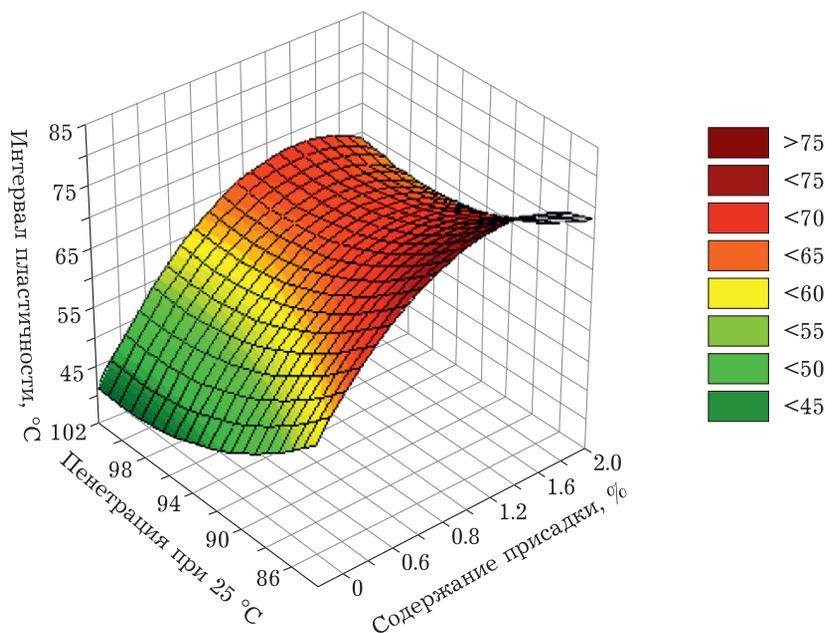


Рис. 2. Зависимость интервала пластичности и пенетрации неокисленного битума производства Елховское НПУ НГДУ «Елховнефть» от содержания присадки в битуме.

Разность величин ИП окисленного и неокисленного битумов с различной концентрацией присадки составила примерно 15 °С, что, вероятно, объясняется более высокой температурой

хрупкости и низкой пенетрацией при 0 °С неокисленного битума.

Сравнительная оценка физико-химических свойств полученных образцов модифицирован-

ТАБЛИЦА 3

Соответствие технических характеристик модифицированных битумов требованиям к вяжущим материалам в России

Показатель	Образец		БНД 90/130	БНД 60/90	ПБВ 90	ПБВ 60	Марка 70/100	БНД 90/130	БНД 60/90
	Производитель								
	ЕНПУ ^а	“ТАИФ-НК”	ГОСТ 22245–90	ГОСТ Р 52056–2003		EN 12591			
Пенетрация, 0,1 мм, не менее									
при 25°C	97	86	91–130	61–90	90	60	70–100	91–130	61–90
при 0°C	18	25	28	20	40	32	– ^в	28	20
Дуктильность, см, не менее									
при 25°C	130	120	65	55	30	25	–	65	55
при 0°C	15.3	4.5	4.0	3.5	15	11	0	4.0	3.5
Температура размягчения по КиШ ^б , °С, не ниже	46	50	43	47	51	54	43–51	45	49
Температура хрупкости, °С, не выше	–19.5	–29.1	–17	–15	–25	–20	–10	–20	–18
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более	5.0	3.5	5	5	6	5	8	5	5
Индекс пенетрации	–0.7	0.2	от –1 до +1		–	–	–	от –1 до +1	
Сцепление с мрамором или песком, баллы	5	5	не норм. ^г		4	4	–	4	4

^а Елховский НПУ.^б Метод определения по кольцу и шару.^в Нет данных.^г Не нормируется.

ных битумов по ГОСТ 22245–90, ГОСТ Р 52056–2003, EN 12591, а также их соответствие требованиям Федерального дорожного агентства (Росавтодор) представлена в табл. 3. Видно, что при сопоставлении норм для исходного и модифицированных битумов, прослеживаются значительные преимущества последних. Так, для битумов, модифицированных присадкой “Адгезолин”, и полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) согласно ГОСТ Р 52056–2003, аналогичных по консистенции битумам марок БНД:

– температура размягчения выше на 6 и 15 % соответственно;

– температура хрупкости по методу Фрааса, характеризующая трещиностойкость дорожного покрытия, ниже на 90 и 33 % соответственно и охватывает весь диапазон минимальных температур наиболее холодных суток, зарегистрированных в России;

– пенетрация при 0 °С, характеризующая деформативность вяжущего, выше на 25 и 60 % соответственно.

Следует отметить, что средние величины показателей модифицированных образцов значительно выше средних показателей параметров, представленных в ГОСТ 22245–0, EN 12591 и

требованиях Росавтодора, а по таким показателям, как температуры размягчения и хрупкости, рабочий интервал пластичности, дуктильность, изменение температуры размягчения после прогрева, имеют значительный запас качества.

Представленные в работе технические требования к вяжущим материалам в России (см. табл. 3) и ряде зарубежных стран согласно (табл. 4) позволили провести сравнительный анализ качества полученных нами битумов, модифицированных присадкой “Адгезолин”.

Как видно из приведенных данных, модифицированные вяжущие на основе присадки “Адгезолин” находятся на уровне мировых стандартов, обладая при этом явным преимуществом относительно показателей трещиностойкости и деформативности при низких температурах (температура хрупкости, пенетрация и дуктильность (растяжимость) при 0 °С), что вполне приемлемо для Республики Татарстан.

По итогам проведенного анализа следует отметить, что полученные образцы модифицированных вяжущих для асфальтобетонных смесей представляют собой нефтяную дисперсную систему, состоящую из битума и адгезионной присадки. В зависимости от соотношения этих

ТАБЛИЦА 4

Соответствие технических характеристик модифицированных битумов требованиям к вяжущим материалам в разных странах

Показатель	Образец							
	Битум + 1% “Адгезолин”		Марка 50/130	Карибит 85	Марка 90-140S	PB 80A	E-90	EM-4
	Производитель							
	ЕНПУ ^а , Россия	“ТАИФ-НК”, Россия	Бельгия	Дания	Австралия	Германия	Италия	Испания
Пенетрация, 0.1 мм, не менее при 25°C	97	86	50–130	70–100	89–140	120	80–100	80–130
Дуктильность, см, не менее при 25°C	127	110	35 (5 °C)	– ^в	55 (13 °C)	100 (7 °C)	100	40 (5 °C)
Температура размягчения по КиШ ^б , °C, не ниже	45.7	50	–	47–55	42	40–48	85–95	60
Температура хрупкости, °C, не выше	–19.5	–29.1	–18	–15	–18	–20	–20	–15
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C, не более	5.1	3.5	–	–	–	6.5	–	6–10

^а Елховский НПУ.

^б Метод определения по кольцу и шару.

^в Нет данных.

Примечание. В скобках указаны фактические температуры, при которых проводились испытания в данной стране.

компонентов, вяжущее способно обладать заданными параметрами теплостойкости, трещиностойкости, пластичности и вязкости, необходимыми для любых климатических условий Республики Татарстан и Российской Федерации в целом.

Исследование физико-механических свойств асфальтобетонных смесей

В качестве минеральных наполнителей при приготовлении асфальтобетонных смесей использовали щебень Сангалыкского диоритового карьера (марка по дробимости 1400 согласно ГОСТ 8267–93), отсев дробления Сангалыкского карьера и песок речной с модулем крупности 1.25 (ГОСТ 8736–93) Камского месторождения. В качестве минерального порошка применяли активированный минеральный порошок МП-1 – порошкообразный наполнитель, получаемый в результате тонкого помола карбонатных минеральных пород (карбоната кальция) до фракции 300–315 мкм. Основное назначение такого порошка – заполнение межзерновых пустот между щебнем и песком, т. е. обеспечение надлежащей плотности асфальтобетона. Активирован-

ный минеральный порошок по сравнению с неактивированным образцом характеризуется меньшей пористостью и почти вдвое меньшим набуханием при контакте с жидкими и вязкими средами различного химического состава. Гранулометрические характеристики активированного минерального порошка остаются неизменными как и технологии его применения, транспортировки и хранения.

В качестве вяжущего материала использовали исходный битум и битум ОАО “ТАИФ-НК”, модифицированный присадкой “Адгезолин” в количестве от 0.8 до 1.2 мас. %. В качестве прототипа был взят состав горячего плотного асфальтобетона (тип Б марка II) – наиболее широко применяемый в климатической зоне Республики Татарстан. Спроектированный минеральный состав образца горячего мелкозернистого асфальтобетона, взятый для дальнейших исследований, представлен в табл. 5. Содержание вяжущих в асфальтобетоне составило 4.6 мас. % (сверх 100 % по отношению к минеральной части).

Для определения свойств асфальтобетона использовали образцы в виде цилиндров с размерами (диаметр и высота) $d = h = 71.4$ мм. Фор-

мование образцов проводили в металлической форме с двумя вкладышами, нагретой до температуры 90–100 °С. Затем образцы уплотняли на прессе при давлении 40 МПа в течение 3 мин. Физико-механические свойства асфальтобетона приведены в табл. 6.

Согласно полученным данным, образцы асфальтобетонов на основе модифицированного вяжущего обладают лучшими деформативными характеристиками при низких температурах, т. е. снижается показатель предела прочности на сжатие при 0 °С (R_0). Это благоприятно сказывается на устойчивости к образованию трещин в зимний период эксплуатации покрытия. Отмечено, что добавление присадки (до 0.8 мас. %) повышает предел прочности на сжатие асфальтобетонных смесей при положительных температурах по сравнению с обычным битумом.

Введение добавки в битум положительно сказывается на показателях, связанных с вязкостью и его когезионной прочностью. Действительно, на 75 % увеличивается прочность на сжатие при 20 °С (R_{20}), на 50 % – при 50 °С (R_{50}) при одновременном уменьшении (на 10 %) R_0 , что характеризует достаточно высокую термостабильность образца битума.

Это свидетельствует о том, что в равных условиях степень разрушения структуры модифицированного битума при деформировании меньше, чем для исходного битума. Улучшение физико-механических показателей асфальтобетонных смесей, полученных на основе модифицированного битума, связано, прежде всего, с повышением адгезионной прочности минеральной и органической части композиционного материала.

Водоустойчивость асфальтобетонных образцов определяется количеством воды, поглощаемым асфальтобетоном при 20 °С, а также сниже-

ТАБЛИЦА 5

Количественный состав мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси (II марка тип Б)

Состав	Содержание, мас. %
Щебень "Сангалык", фракция 5–20	46
Отсев дробления "Сангалык", фракция 0–5	26
Песок речной "Камский"	20
Минеральный порошок активированный МП-1	8
Битум БНД 60/90	4.6

нием прочности водонасыщенного образца по сравнению с исходным. Быстрое водонасыщение асфальтобетона осуществляется созданием вакуума над поверхностью воды, в которую погружены образцы. При вакуумировании образца асфальтобетона происходит откачивание воздуха в первую очередь из сообщающихся пор и наполнение их водой [22]. Выходящий из закрытых пор воздух разрушает битумную пленку, тем самым увеличивая пористость асфальтобетона, что приводит к снижению его прочности (рис. 3). Для модифицированного битума такой разрыв пленки практически исключен, поскольку вязкость вяжущего, а также прочность асфальтобетона на его основе значительно выше, чем в случае применения исходного битума. Так, в асфальтобетоне с исходным битумом при близких значениях средней плотности и остаточной пористости показатель водонасыщения в 1.5 раза выше, чем в образцах с адгезионной присадкой. Следовательно, поровая структура асфальтобетонов с добавкой имеет большее количество закрытых пор, что способствует более высокой морозостойкости асфальтобетонов [23].

Одна из важнейших задач при создании асфальтобетонных покрытий заключается в раз-

ТАБЛИЦА 6

Результаты испытаний мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей

Содержание присадки "Адгезолин" в битуме, мас. %	Показатели					Коэффициент водостойкости	Трещиностойкость, МПа	Сдвигоустойчивость, МПа	Коэффициент внутреннего трения
	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности на сжатие, МПа						
			R_{20}	R_{50}	R_0				
0	2.55	2.5	3.2	1.1	8.5	0.86	3.1	0.35	0.99
0.8	2.55	1.7	5.6	1.67	8.0	0.92	3.5	0.42	0.94
1.0	2.55	1.8	4.8	1.60	7.60	0.91	3.4	0.39	0.93
1.2	2.55	1.7	4.7	1.53	7.34	0.90	3.3	0.38	0.92
Требования ГОСТ 9128–2009		1.5–4.0	>2.2	>1.0	<12.0	>0.85	3.0–6.5	>0.35	>0.81

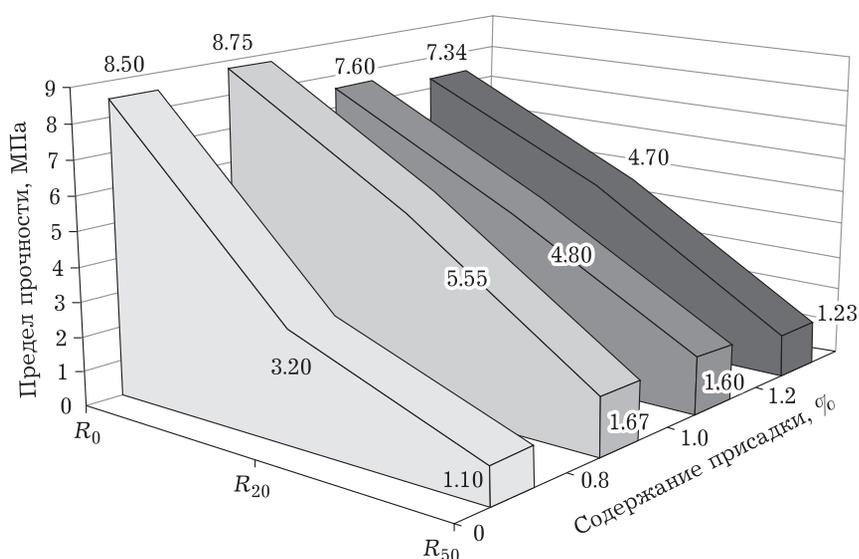


Рис. 3. Зависимость предела прочности асфальтобетонных смесей (R_0 , R_{20} и R_{50}) от содержания адгезионной присадки.

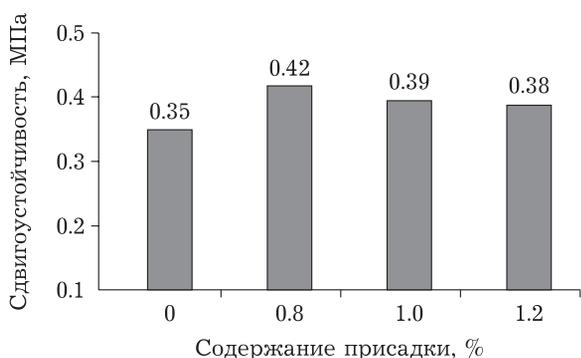


Рис. 4. Зависимость сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей от содержания адгезионной присадки.

работке вяжущих, успешно противостоящих образованию сдвиговых деформаций при высоких температурах и трещинообразованию с определенным коэффициентом температурной чувствительности [24].

Необходимо отметить, что асфальтобетон должен обладать определенной прочностью на сдвиг,

которая обычно в 2–3 раза ниже, чем прочность на сжатие. Прочность определяется на сдвиговых приборах при температуре 50 °С. Недостаточная сдвигоустойчивость приводит к образованию волн на покрытии при торможении автомобилей [25]. В ходе проведенных испытаний выявлено, что сдвигоустойчивость асфальтобетонной смеси на основе модифицированного вяжущего (0.8 мас. %), оцениваемая по коэффициенту внутреннего трения и показателю сцепления, на 20 % выше, чем для образца на основе исходного битума (рис. 4).

Следует подчеркнуть, что показатели сдвигоустойчивости и теплоустойчивости асфальтобетона взаимосвязаны (показатель сдвигоустойчивости образца пропорционален его теплоустойчивости). Известно, что теплоустойчивость асфальтобетона характеризуется изменением его прочности от температурных колебаний. Показатель теплоустойчивости (K_T) асфальтобетона оценивали по соотношению пределов прочности R при 20 и 50 °С (R_{20}/R_{50}), а также при 0 и 50 °С (R_0/R_{50}).

Высокие показатели теплоустойчивости асфальтобетонных образцов на основе модифицированных вяжущих означают, что в условиях повышенных температур в летний период появление пластических деформаций в дорожном покрытии значительно снизится. Это видно по увеличению соотношения R_{20}/R_{50} и уменьшению соотношения R_0/R_{50} для модифицированных образцов в сравнении с исходным битумом (табл. 7).

ТАБЛИЦА 7

Коэффициенты теплоустойчивости асфальтобетонных смесей

Содержание присадки “Адгезолин” в битуме, мас. %	Коэффициенты теплоустойчивости (K_T)	
	R_{20}/R_{50}	R_0/R_{50}
0	2.91	7.73
0.8	3.32	4.79
1.0	3.00	4.75
1.2	3.07	4.80

Разработка технологии получения модифицированного вяжущего с использованием адгезионной присадки

На основе битума марки БНД 60/90 производства ОАО «ТАИФ-НК» была выпущена опытная партия (40 т) вяжущего, модифицированного присадкой «Адгезолин», согласно представленной принципиальной технологической схеме (рис. 5).

Битум заданного количества для производства модифицированного вяжущего забирается насосом 2 из емкости 1 и подается в смеситель установки модификации (реактор смешения) 4. Смеситель представляет собой аппарат, который снабжен перемешивающим устройством с лопастной мешалкой. Загрузка битума в смеситель производится при остановленных мешалках. Температура загружаемого битума должна быть не ниже 120–130 °С. Предусматривается замер и сигнализация верхнего уровня в смесителе, а также отключение насоса 2 по верхнему уровню битума. Привод мешалки смесителя включается только после заполнения реактора битумом. Чтобы исключить влияние переходных процессов (стабилизации гидро- и термодинамических режимов в оборудовании) необходимо произвести циркуляцию битума без подачи в него модификатора в течение 15–20 мин.

Окончание переходных процессов контролируется по стабилизации температуры битума в реакторе смешения 4 датчиком температуры. Далее в реактор смешения 4 из емкости 3, оснащенной шнековым дозатором, подается расчет-

ное количество присадки. Циркуляция модифицированного битума дополнительно увеличивает интенсивность перемешивания, что сокращает время модификации. При перемешивании температура смеси должна быть не ниже 130 °С, так как снижение температуры ниже этой отметки увеличивает время модификации. По истечении времени перемешивания готовое вяжущее, в зависимости от назначения, поступает в резервуар для хранения, в автобитумовозы, в переносную тару или в расходную емкость асфальтосмесительной установки.

Исследование физико-механических свойств асфальтобетонных смесей с опытного участка дорожного покрытия

В период 25–26 августа 2012 г. на объекте «Мостовой переход через р. Мелекеска, г. Набережные Челны» (Республика Татарстан, Россия) был уложен опытный участок дорожного полотна из асфальтобетонной смеси, приготовленной на основе битума марки БНД 60/90 производства ОАО «ТАИФ-НК» с добавлением присадки «Адгезолин» (1 мас. %).

По истечении **одного года** после укладки опытного участка дорожного покрытия были отобраны вырезки-керны. За период с момента укладки следует отметить улучшение прочностных характеристик асфальтобетонных смесей на основе модифицированного битума, а именно: предел прочности на сжатие при 20 °С (R_{20}) увеличился от 4.7 до 5.0 МПа, при 0 °С (R_0) уменьшился от 12.0 до 11.1 МПа, показатель водона-

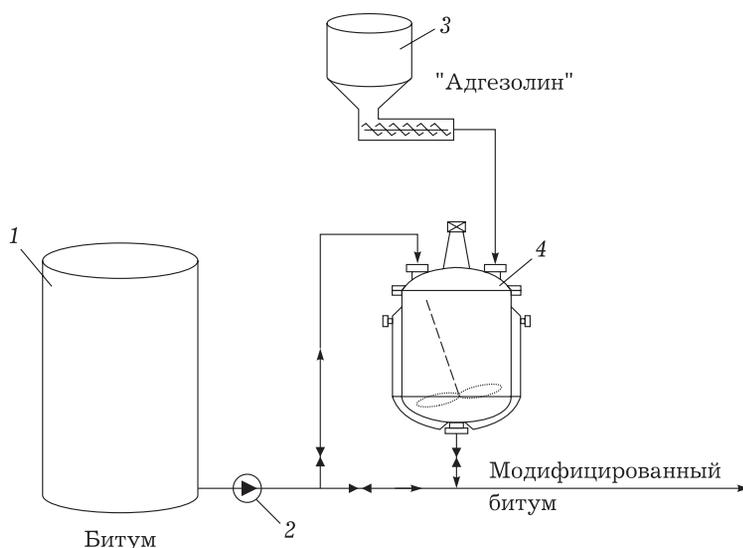


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема получения модифицированного вяжущего с использованием адгезионной присадки.

ТАБЛИЦА 8

Результаты испытаний мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей в период эксплуатации дорожного покрытия

Время эксплуатации	Показатели асфальтобетонной смеси						
	Предел прочности при сжатии, МПа			Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Коэффициент	
	R ₂₀	R ₅₀	R ₀			водостойкости	уплотнения
	Результаты испытаний образцов						
На момент укладки	4.7	1.8	12.0	2.53	1.8	0.94	0.99
Через 1 год	5.1	1.7	11.1	2.52	1.3	0.99	1.02
Через 2 года и 9 месяцев	6.1	2.1	11.4	2.58	1.2	0.91	1.1
По ГОСТ 9128–2009	Не менее 2.2	Не менее 1.0	Не более 12.0	–	Не более 4.5 (из покрытия) 1.0–4 (из смесей)	Не менее 0.85	Не менее 0.98

сыщения соответствовал требованиям ГОСТ (при норме не более 4,5 % – из покрытия, 1,0–4,0 % – из смесей) и составлял 1,3 и 3,0 % соответственно, коэффициент водостойкости увеличился от 0,94 до 0,99.

По истечении **двух лет и девяти месяцев** после укладки опытного участка дорожного покрытия повторно были отобраны вырезки-керны. За период с момента предыдущего контроля выявлено улучшение физико-механических показателей асфальтобетонных смесей, полученных на основе модифицированного битума, а именно: предел прочности на сжатие при 20 °С (R₂₀) увеличился от 5,1 до 6,1 МПа, при 50 °С (R₅₀) увеличился от 1,7 до 2,1 МПа, показатель водонасыщения уменьшается от 1,3 до 1,2 %. При этом показатели сдвигустойчивости по сравнению с показателем на момент укладки (0,44 МПа) вырос до 0,59 МПа. Показатель трещиностойкости, как и другие свойства асфальтобетона, соответствуют ГОСТ. Результаты представлены в табл. 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования и опытные испытания показали, что битумы, модифицированные катионоактивной адгезионной присадкой “Адгезолин” находятся на уровне мировых стандартов и в сравнении с европейскими и другими образцами обладают явным преимуществом по показателям трещиностойкости и деформативности при низких температурах (температуре хрупкости, пенетрации и растяжимости при 0 °С), что вполне приемлемо для использования на территории Республики Татарстан. Установлено, что приготовление ас-

фальтобетона на основе модифицированного битума улучшает его физико-механические показатели: увеличивает предел прочности на сжатие при 20 и 50 °С на 75 и 50 % соответственно при одновременном уменьшении на 10 % предела прочности на сжатие при 0 °С, что характеризует достаточно высокую термостабильность полученного материала. Также увеличиваются соотношения пределов прочности на сжатие при 20 и 50 °С и уменьшаются соотношения пределов прочности на сжатие при 0 и при 50 °С, что обеспечивает снижение пластических деформаций в дорожном покрытии в летний период.

Проведенные испытания по оценке физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей на основе битума БНД 60/90 производства ОАО “ТАИФ-НК”, модифицированного присадкой “Адгезолин” (1 мас. %), из покрытия дорожного полотна после двух лет и девяти месяцев эксплуатации свидетельствовали о том, что произведенные смеси полностью соответствуют ГОСТ 9128–2009 “Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия”.

Таким образом, асфальтобетон по типу Б, приготовленный на основе модифицированных вяжущих, по физико-механическим свойствам относится к маркам II, III (приложение А, таблица А.1 ГОСТ 9128–2009) и предназначен для II, III климатических зон (приложение Б, таблица Б.1 ГОСТ 9128–2009). Полученные таким образом результаты лабораторных исследований дали основание для проведения опытно-промышленных испытаний с укладкой опытного участка дорожного полотна с последующим проведением авторского надзора за состоянием этого участка.

Полученные результаты при опытно-промышленных испытаниях асфальтобетонных смесей на основе битума, модифицированного присадкой “Адгезолин”, позволяют ожидать увеличения межремонтного срока и долговечности дорожного покрытия.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Печеный Б. Г. Битумы и битумные композиции. М.: Химия, 1990. 256 с.
- 2 Макк Ч. Физическая химия битумов. Битумные материалы. Асфальты, смолы, пеки / под ред А. Дж. Хойберга. М.: Химия, 1974. С. 7–88.
- 3 Платонов А. П., Литвиненко Л. Р., Рахимова И. А. Применение активных добавок при производстве окисленных битумов // Автомобильные дороги. 1992. № 4. С. 10–12.
- 4 Бембель В. М., Леоненко В. В., Сафонов Г. А. Модификация нефтяных битумов // Тезисы докладов Международной конференции по химии нефти. Томск, 1991. С. 307.
- 5 Кулик Е. П. Влияние адгезионных добавок на основе криптоанионных ПАВ на сцепление дорожного битума с минеральными материалами // Вестник ХНАДУ. 2005. № 30. С. 51–52.
- 6 Кудряшов П. А., Гермашев В. Г., Мартынов В. А. Исследование термостабильности адгезионных добавок // Сборник докладов ежегодной научной сессии Ассоциации Исследователей Асфальтобетона МАДИ (ГТУ). Москва, 2011. С. 23–31.
- 7 Худякова Т. С., Розенталь Д. А., Машкова И. А., Березников А. В. Количественная оценка сцепления дорожных битумов с минеральным материалом // Химия и технология топлив и масел. 1987. № 6. С. 35–38.
- 8 Колбановская А. С. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами. М.: Автотрансиздат, 1959. 32 с.
- 9 Кортянович К. В., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Диэлектрическая проницаемость как показатель, характеризующий адгезионные свойства битумов // Нефтегазовое дело. 2006. Т. 4, № 1. С. 1–9.
- 10 Круглый стол: адгезионные добавки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://amdor.ru/publikacii/publikacii/kruglyj-stol-adgezionnye-dobavki/> (дата обращения: 02.07.2020).
- 11 Применение адгезионных присадок к битумам в дорожном строительстве России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://roads.ru/forum/topic/20576-primeneniye-adgezionnyh-prisadok-k-bitumam-v-dorozhnom-stroitelstve-rossii/> (дата обращения: 02.07.2020).
- 12 Бабаев В. И., Королев И. В., Гридчин А. М., Шухов В. И. Технические поверхностно-активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве / под ред. И. В. Королева. М.: Транспорт, 1991. 144 с.
- 13 Kandal P. S. Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report // Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 1996. Vol. 54, No. 14. P. 46–47.
- 14 Абдуллин А. И., Емельянычева Е. А., Ганиева Т. Ф., Идрисов М. Р. Битумные вяжущие: учеб. пособие. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. 100 с.
- 15 Mukhamatdinov I. I., Kemalov A. F., Fakhretdinov P. S., Bogdanova S. A. Estimation of bitumen adhesion to the mineral material on the basis of its wetting properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, No. 24. P. 45075–45081.
- 16 Mukhamatdinov I. I., Sitdikova L. M., Sidorova E. U., Kemalov A. F., Fakhretdinov P. S. Study of the characteristics of bitumen with adhesive additive using method of X-ray analysis // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, No. 14. P. 911–918.
- 17 Mukhamatdinov I. I., Kemalov A. F., Fakhretdinov P. S. A study of the rheological properties of road asphalts modified by an adhesive additive // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2017. Vol. 53, No. 5. P. 683–691.
- 18 Mukhamatdinov I. I., Fakhretdinov P. S., Kemalov A. F. The structure and group composition of bitumen, modified by “Adgezolin” additive // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, No. 15. P. 575–582.
- 19 Mukhamatdinov I. I., Kemalov A. F., Fakhretdinov P. S. Evaluation of “Adgezolin” additive effects obtained with various technologies on physical and chemical properties of bitumen // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, No. 15. P. 171–178.
- 20 Mukhamatdinov I. I., Gafurov M. R., Kemalov A. F., Rodionov A. A., Mamin G. V., Fakhretdinov P. S. Study of the oxidized and non-oxidized bitumen modified with additive “Adgezolin” by using electron paramagnetic resonance // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 155, No. 1. Article 012004.
- 21 Mukhamatdinov I. I., Kemalov A. F., Fakhretdinov P. S. Investigation of physical and mechanical properties of asphalt mixtures modified by adhesive additive // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2018. Vol. 18, No. 14. P. 553–559.
- 22 Петров С. М. Модификаторы полифункционального действия для получения окисленных дорожных битумов с улучшенными свойствами: дис. ...канд. техн. наук. Казань, 2009. 187 с.
- 23 Галдина В. Д. Влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Вестн. Сиб. гос. автомобильно-дорож. академии. 2009. № 2. С. 32–36.
- 24 Босхолов К. А. Асфальтобетон с применением активированных кремнеземсодержащих минеральных порошков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2007. 23 с.
- 25 Борисенко О. А. Битумо-минеральные композиции, модифицированные отсевами дробления керамзита для асфальтовых материалов с повышенными термостабильностью и трещиностойкостью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2008. 23 с.
- 26 Руденская И. М., Руденский А. В. Реологические свойства битумов. М.: Высшая школа, 1967. 119 с.