

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №1, Том 6 / 2019, No 1, Vol 6 <https://t-s.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/04SATS119.pdf>

DOI: 10.15862/04SATS119 (<http://dx.doi.org/10.15862/04SATS119>)

Статья поступила в редакцию 15.01.2019; опубликована 05.03.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:

Углова Е.В., Еременко Е.А., Сикачёва Н.В., Кузин К.А. Исследование влияния адгезионных присадок на физико-химические свойства дорожных битумов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/04SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/04SATS119

For citation:

Uglova E.V., Eremenko E.A., Sikachyova N.V., Kuzin K.A. (2019). Research of influence of adhesive additives on physical and chemical properties of road bitumens. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/04SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/04SATS119

УДК 691.161

ГРНТИ 67.09.43

Углова Евгения Владимировна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Заведующая кафедрой «Автомобильных дорог»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: uglova.ev@yandex.ru

Еременко Евгений Александрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Научный сотрудник кафедры «Автомобильные дороги»
E-mail: eremenkoeugene@gmail.com

Сикачёва Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент кафедры «Автомобильные дороги»
E-mail: natali_sikacheva@mail.ru

Кузин Кирилл Александрович

ООО «Автотор-Инжиниринг», Москва, Россия
Заместитель начальника управления обеспечения качества дорожных и мостовых работ
E-mail: k.kuzin@avtodor-eng.ru

Исследование влияния адгезионных присадок на физико-химические свойства дорожных битумов

Аннотация. Для повышения прочности сцепления (смачивающей способности) битума, и, следовательно, снижения вероятности преждевременного возникновения дефектов, образующихся на асфальтобетонных покрытиях, необходимо применять различного рода поверхностно-активные вещества (ПАВ), повышающие адгезионную способность битума. Адгезионные присадки к дорожным битумам увеличивают подвижность органического вяжущего, способствуют уменьшению количества непокрытых зерен минерального материала, что облегчает уплотнение асфальтобетонной смеси.

Одной из проблем долговечности асфальтобетонных покрытий является отсутствие прочного сцепления битумной пленки с поверхностью минерального материала. Для увеличения этой прочности применяются различные адгезионные присадки, которые оказывают влияние не только на адгезионные свойства битума, но и на его физико-химические свойства.

Основная задача работы направлена на решение вопросов влияния адгезионных присадок на физико-химические свойства органических вяжущих, применяемых в дорожном строительстве. Оценка качества модифицированного битума проводилась по ГОСТ 22245-90, которым, в настоящее время, руководствуются при подборе состава асфальтобетонной смеси.

В результате исследования были выявлены эффективные адгезионные добавки, способствующие минимальному изменению физико-химических свойств вязкого дорожного битума и обладающие термостабильностью при длительном воздействии повышенных температур. Проведенные исследования показали, что практически все адгезионные присадки не только способствуют улучшению адгезионных свойств органических вяжущих к минеральным материалам, но и способны изменять, и даже ухудшать физико-химические свойства исходного органического вяжущего, что негативно может сказаться на свойствах асфальтобетонов. В исследовании использовался исходный битум только одного производителя и отрицательное влияние адгезионных присадок может быть обусловлено не совместимым химическим составом адгезионной добавки с групповым составом битума и с минералогическим составом минерального материала.

Ключевые слова: органическое вяжущее; дорожный битум; адгезионная присадка; сцепление; физико-химические свойства; поверхностно-активные вещества; глубина проникания иглы; температура размягчения; температура хрупкости; дуктильность; термостабильность; метод RTFOT

Автомобильные дороги являются неотъемлемой частью транспортной системы России. Экономика страны напрямую зависит от эффективности работы транспортной системы. Дороги являются одним из главных инструментов в решении крупнейших политических и экономических задач. Оценивая сегодня состояние транспортной системы нельзя считать его оптимальным, а уровень её развития достаточным. Сегодняшние объёмные и качественные характеристики автодорожной инфраструктуры не позволяют в полной мере и эффективно решать проблемы возрастающей экономики. Развитие дорожной сети и поддержание высокого уровня транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог, обеспечивающих комфортное и безопасное движение транспортных средств, являются основными задачами дорожной отрасли.

Срок службы асфальтобетонных слоев дорожной одежды на автомобильных дорогах в значительной степени зависит от способности органического вяжущего обеспечивать прочное сцепление с поверхностью минерального заполнителя асфальтобетонной смеси [1]. Прочность и устойчивость адгезионных свойств характеризуются процессами, протекающими на границе поверхности раздела битум-минеральный материал, и зависят от химического и группового состава и свойств битума, а также происхождения и петрографии минерального материала.

Практика 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 SiO_2 больше 50 % (граниты, габбродолериты, песчаники и т. п.), а иногда даже и основного происхождения, что во многом отражается на снижении водостойкости и коррозионной стойкости асфальтобетона, а следовательно приводит к образованию таких видов дефектов на дорожных покрытиях уже на начальных этапах его эксплуатации как выкрашивание, выбоин, проломы и ямы [2].

Для повышения прочности сцепления (смачивающей способности) битума, и, следовательно, снижения вероятности преждевременного возникновения дефектов, образующихся на асфальтобетонных покрытиях, необходимо применять различного рода поверхностно-активные вещества (ПАВ), повышающие адгезионную способность битума. Адгезионные присадки к дорожным битумам увеличивают подвижность органического вяжущего, способствуют уменьшению количества непокрытых зерен минерального материала, что облегчает уплотнение асфальтобетонной смеси [3].

На сегодняшний день существует огромный выбор адгезионных присадок для битумов. Наиболее работоспособными являются катионные ПАВ, в качестве которых в дорожном строительстве, во многих случаях, применяются амидоамины, имидазолины, аминокислоты и их соли, но не все из них могут обеспечить стабильность адгезионных свойств, при этом не ухудшив другие физико-химические показатели качества битума (дуктильность, пенетрация при 25 и 0 °С, температура хрупкости, температура размягчения и т. д.), и самое главное обеспечить термостабильность свойств самой добавки при прогреве модифицированного вяжущего в тонкой пленке под воздействием кислорода воздуха (метод RTFOT) [4]. Данный метод имитирует модель технологического старения органического вяжущего в процессе приготовления, транспортировки и уплотнения асфальтобетонной смеси.

В лаборатории «ДорТрансНИИ ДГТУ» были проведены исследования по определению влияния наиболее распространенных адгезионных присадок на стандартные физико-химические свойства дорожных битумов, а также выполнена оценка адгезионных свойств на состаренных и несостаренных модифицированных добавками битумах. Для работы использовалось пять продуктов, которые были предоставлены представителями подрядных организаций:

- «Амдор-10». Добавка представляет собой однородную вязкую жидкость, состоящую из смеси полиаминоамидов и полиаминоимидазолинов, имеет цвет от светло-желтого до темно-коричневого, обладает характерным запахом и не расслаивается при хранении. Рекомендуется вводить в битум в количестве 0,15–0,5 %. Рабочая температура до 180 °С [10].

- «Атлантик Вельбот 5004» представляет собой жидкую адгезионную добавку, специально разработанную для горячих асфальтобетонных смесей, для которых требуется высокая термостабильность смеси катионного поверхностно-активного вещества, изготовленного на основе триэтанолamina, с продуктом полимеризации ненасыщенных углеводородов фракции. Внешний вид – жидкого прозрачного желто-коричневого цвета. Добавку «Атлантик Вельбот 5004» вводят в битум в количестве 0,2–0,6 % в зависимости от применяемых минеральных материалов и битума.

- «ДАД-1 (А)». Адгезионная добавка амфотерного типа, применяемая в дорожном строительстве для улучшения сцепления нефтяного дорожного битума с каменными материалами, как кислых, так и основных пород. Представляет собой однородную вязко-текучую жидкость коричневого цвета. Работоспособность добавки проявляется при её концентрации, в зависимости от минерального материала 0,3–0,8 % от массы битума.

- «Адгезол б». Битумная присадка представляет собой органическую композицию на основе взаимодействия талового масла с полиалкилполиаминовыми соединениями.

«Адгезол б» это однородная вязкая текучая жидкая консистенция от светло-коричневого до темно-коричневого цвета с зеленоватым оттенком. Присадка работоспособна при повышении температуры битума свыше 160 °С, в количестве 0,2–0,5 % от массы битума.

- «Азол 1002» представляет собой поверхностно-активное вещество (ПАВ) катионного типа на основе амидоаминов и имидазолинов жирных кислот. «Азол 1002» – вязкая жидкость темно-коричневого цвета, улучшающая адгезионную прочность вяжущего с поверхностью кислых материалов в составе асфальтобетонной смеси. Оптимальное содержание добавки в битуме находится в пределах 0,3–0,5 % от массы битума.

В качестве исходного битума для проведения исследований применялся битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 60/90 производства АО «Газпромнефть-Московский нефтеперерабатывающий завод». Результаты испытаний исходного битума приведены в таблице.

На первом этапе испытания проводились по основным стандартным показателям, предъявляемым к битумам нефтяным дорожным вязким по ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия». Результаты испытания исходного битума представлены в таблице 1. Результаты определения показателей физико-химических свойств битума, модифицированного различными концентрациями адгезионных добавок представлены на рисунках 1–5.

Таблица 1

Показатели физико-химических свойств исходного битума марки БНД 60/90

	Глубина проникания иглы при температуре		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Растяжимость при температуре		Сцепление вяжущего с гранитным щебнем
	25 °С, 0,1 мм	0 °С, 0,1 мм			25 °С, см	0 °С, см	
БНД 60/90	76	25	49	-21	90	3,52	2 балла
ГОСТ 22245-90	61-90	не менее 20	47	-15	55	3,5	-

Маркировка битума в большинстве стран, включая Россию, производится по показателю глубины проникания иглы (ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы). Из анализа данных рисунка 1 видно, что с увеличением концентрации адгезионных добавок в битуме от 0,1 % до 0,6 % наблюдается повышение пенетрации при температуре 25 °С, (в среднем на 5–10 %) увеличивались до 75–78 0,1 мм, что говорит о незначительном снижении вязкости образуемого вяжущего. Исключение составляет адгезионная добавка «Атлантик Вельбот 5004», которая изменяет пенетрацию в меньшую сторону до значения 68 (на 5 %).

Для того, чтобы зимой асфальтобетон был в меньшей степени подвержен трещинообразованию, исходный битум должен обладать необходимой деформативностью (пластичностью) [5]. Вязкость битума (пенетрация) при 0 °С косвенно характеризует его поведение в составе асфальтобетона в зимний период.

Представленные зависимости процентного содержания адгезионных добавок от показателя глубины проникания иглы при 0 °С (рисунок 1Б) позволяют отметить положительное влияние всех присадок. Битумы с адгезионными добавками «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002» обладают большей пластичностью при низких температурах, по сравнению с «ДАД-1», «Адгезол б» и «Амдор-10», и улучшают свойства исходного битума по этому показателю на 18–20 %.

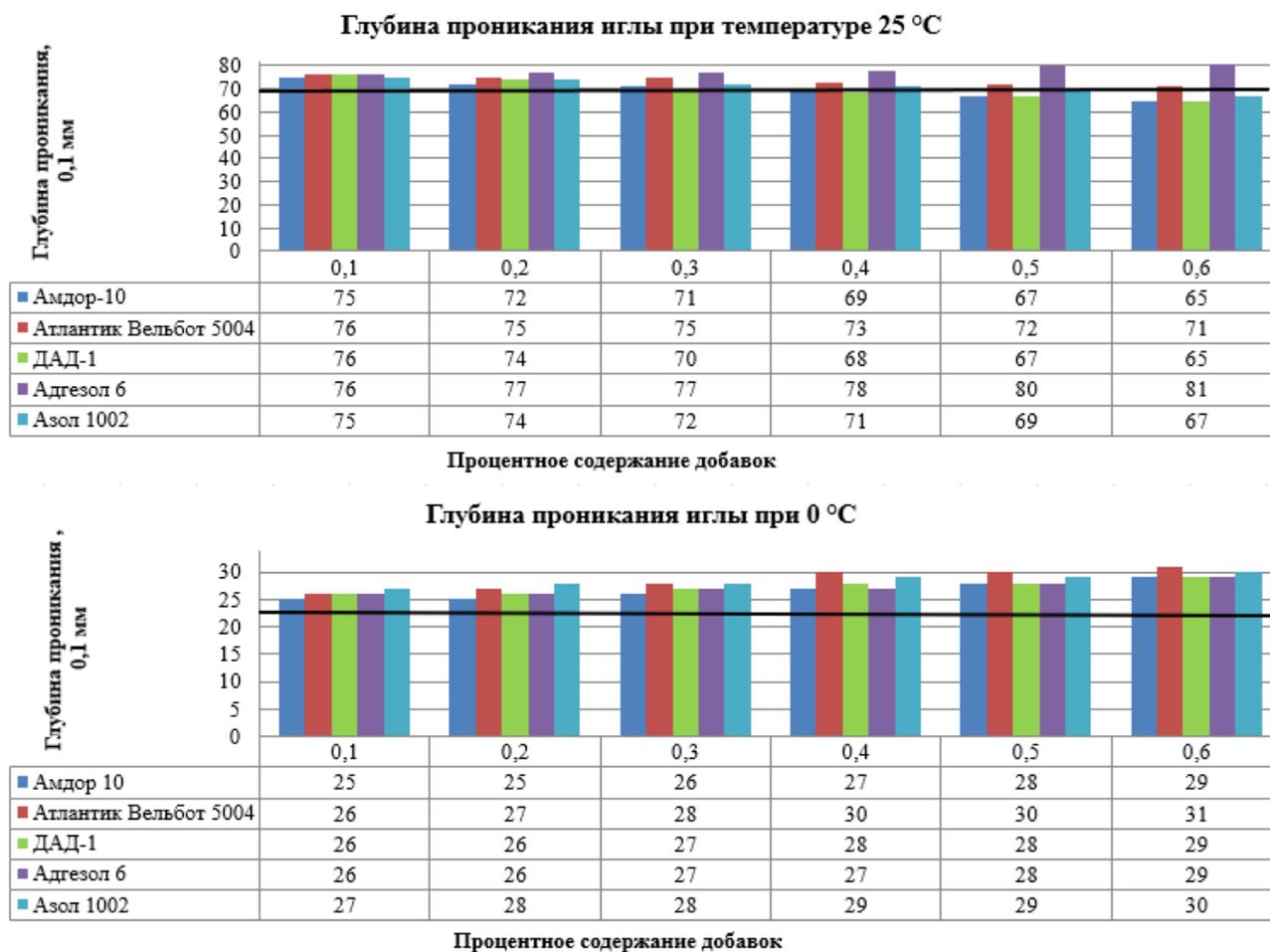


Рисунок 1. Зависимость показателя глубины проникания иглы пенетрометра при 25 °С (А) и при 0 °С (Б) от вида и количества адгезионной присадки (составлено авторами)

Температурная устойчивость битума, один из главных показателей, характеризуется двумя показателями: температура размягчения и температура хрупкости (ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару, ГОСТ 11507-78. Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу). Чем выше температура размягчения битума, тем он более устойчив к воздействию высоких положительных температур. Для южных регионов России данный показатель крайне важен в связи с высокими летними температурами и прогреву верхнего слоя покрытия, которые достигают вплоть до 60–70 °С. При анализе данных, полученных по результатам испытаний (рисунок 2Б), можно сделать заключение о том, что температура размягчения практически не изменяется по сравнению с исходным битумом.

Однако, следует отметить положительную динамику некоторого роста температуры размягчения с увеличением концентрации добавок в битуме. Лишь при использовании адгезионной присадки «Адгезол 6» и увеличение ее содержания в битуме, наблюдается противоположная картина. В этом случае происходит понижение рассматриваемого показателя на 0,9 °С. Лучшее всего по температуре размягчения битума проявила себя добавка «Амдор 10» и «ДАД-1», которые повышают данный показатель.

Работоспособность битума при отрицательных температурах характеризует показатель хрупкости [7]. У всех исследуемых добавок наблюдается повышение температуры хрупкости на 2-3 °С (рисунок 2Б). Менее подвержены изменению этого показателя битумы с адгезионными добавками «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002».

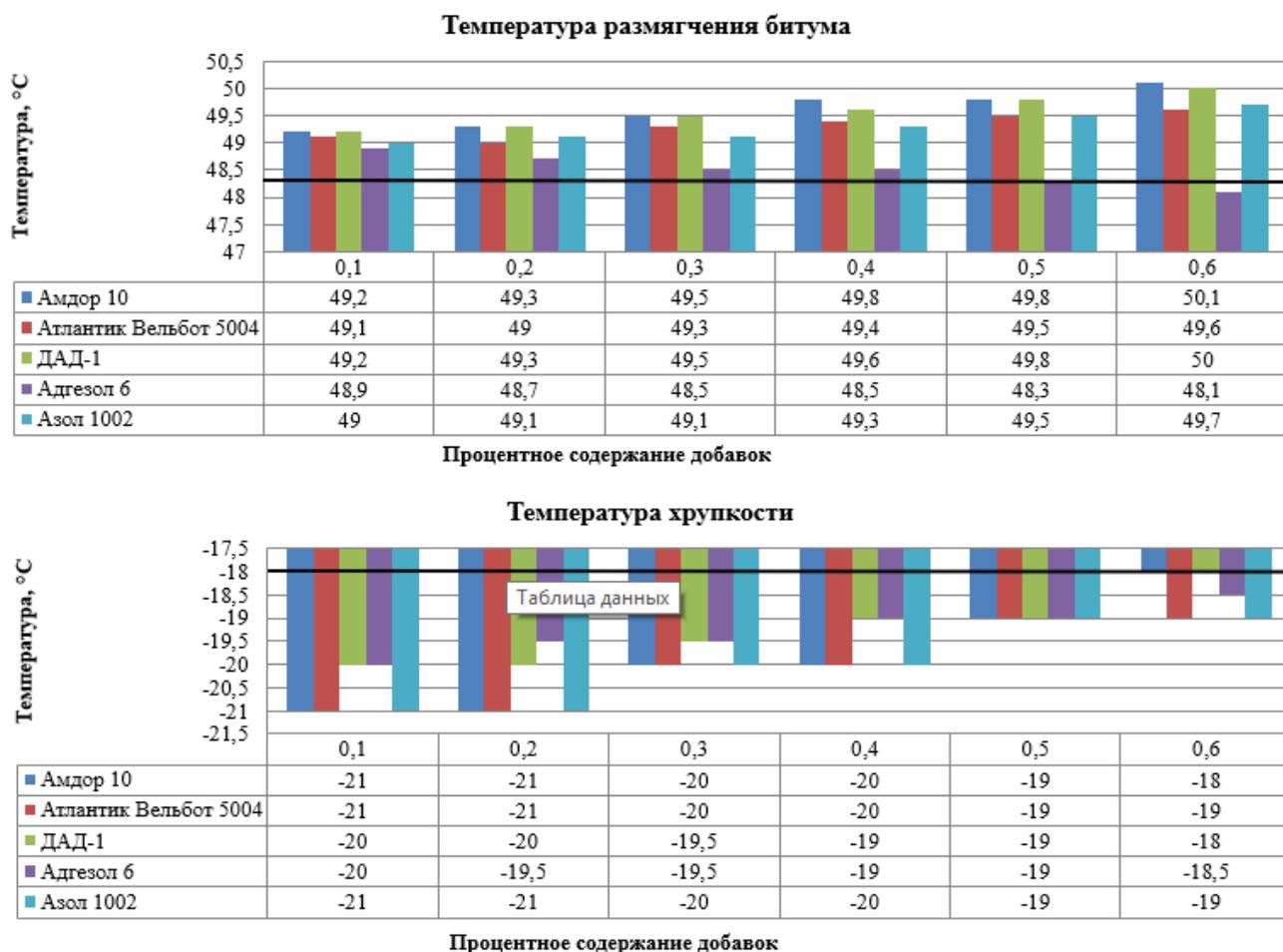


Рисунок 2. Зависимость показателя температуры размягчения (А) и температуры хрупкости (Б) от вида и количества адгезионной присадки (составлено авторами)

Дуктильность вяжущего характеризуется способностью битума растягиваться при заданной температуре с приложенной постоянной скоростью (ГОСТ 11505-75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости).

Улучшение показателя дуктильности вяжущего при температуре 25 °С наблюдается у добавки «Амдор 10» при концентрации 0,4 % и выше. Добавки «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002» положительно влияют на дуктильность вяжущего при концентрации 0,5 % и выше (рисунок 3А).

На показатель дуктильности вяжущего при температуре 0 °С адгезионные добавки особого влияния не оказывают (рисунок 3Б).

Самым главным назначением всех адгезионных добавок является улучшение сцепления битума с каменным материалом как основных, так и кислых пород. [7] Проведенные испытания на каменном материале кислых пород (гранит) показали, что лучше всего адгезионные качества проявляют добавки «Адгезол 6» при концентрации 0,3 % и 0,4 %, имея оценки 4 и 4,5 (по пяти бальной шкале), и «Амдор-10» при концентрации 0,6 % с оценкой 4,5 (рисунок 4) (ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний).

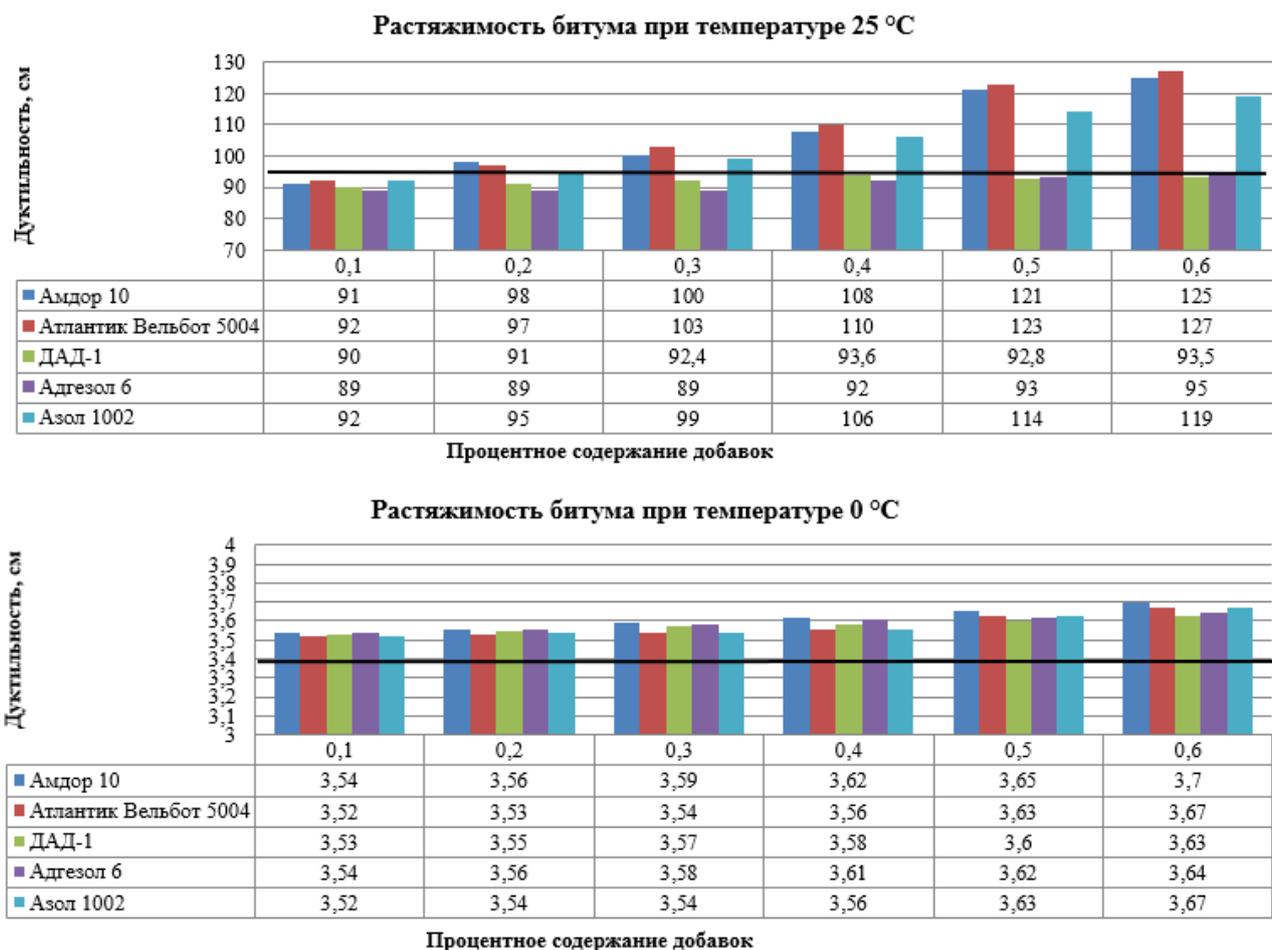


Рисунок 3. Зависимость показателя дуктильность при температуре 25 °С (А) и дуктильность при температуре 0 °С (Б) от вида и концентрации адгезионных присадок (составлено авторами)

Заметное улучшение адгезионных качеств добавки при концентрации 0,3 % наблюдается у присадки «Адгезол 6». Добавки «Азол 1002», «Амдор 10» и «ДАД-1» обеспечивают положительные адгезионные качества при концентрации 0,4–0,6 %, когда работоспособность «Атлантик Вельбот 5004» проявляется при концентрации 0,5 % и выше (рисунок 4).



Рисунок 4. Зависимость показателя сцепления органического вяжущего с гранитным щебнем от вида и количества адгезионной присадки (составлено авторами)

Одним из главных показателей качества адгезионных добавок является их термостабильность при прогреве модифицированного вяжущего в тонкой пленке под воздействием кислорода воздуха (метод RTFOT) (ГОСТ 33140-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения старения под воздействием высокой температуры и воздуха (метод RTFOT)) [8]. По сути, данный метод имитирует фактическое старение вяжущего происходящее в асфальтобетонной смеси в процессе ее приготовления, транспортирования и уплотнения. За этот промежуток времени идут серьезные изменения группового состава вяжущего, в связи с чем ухудшаются адгезионные свойства [9].

Высокая термостабильность модифицированного вяжущего после прогрева в тонкой пленке наблюдается только у присадки «Атлантик Вельбот 5004» при концентрации 0,6 % и выше.

Сцепление вяжущего с гранитным щебнем после прогрева по методу RTFOT



Процентное содержание добавок

Рисунок 5. Зависимость показателя сцепления органического вяжущего с гранитным щебнем после прогрева в тонкой пленке (метод RTFOT) от вида и количества адгезионной присадки (составлено авторами)

Выводы

Проведя сопоставимый анализ результатов испытаний битумов с адгезионными добавками можно отметить следующее:

- Глубина проникания иглы при 25 °С. Минимальные изменения при введении различных концентраций обладают добавки «Атлантик Вельбот 5004» и «Адгезол 6», плохие результаты, с большим изменением пенетрации показали – «Амдор 10», «ДАД-1» и «Азол 1002»
- Глубина проникания иглы при 0 °С. Увеличение данного показателя говорит о положительном влиянии, и уменьшении твердости вяжущего при пониженной температуре. Наилучший результат показали добавки «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002».
- Растяжимость при температуре 25 °С. При введении практически всех адгезионных добавок происходит улучшение данного показателя, однако наилучший результат показали «Амдор 10», «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002».

- Растяжимость при температуре 0 °С. Практически все исследуемые адгезионные добавки не оказывают особого влияния на данный показатель.
- Температура размягчения. Практически все адгезионные добавки незначительно повышают данный показатель, за исключением «Адгезол 6», который снижает температуру размягчения на 0,9 °С по сравнению с исходным битумом.
- Температура хрупкости. Динамика влияния добавок на данный показатель одинакова, менее подвержены изменению битума с присадкой «Атлантик Вельбот 5004» и «Азол 1002».
- Сцепление вяжущего с гранитным щебнем. При испытании битумов, содержащих различные концентрации адгезионных добавок и не состаренных в результате эксплуатационного их применения заметно, что изменение адгезионных свойств и средняя оценка приблизительно одинакова, однако при проведении процедуры состаривания по методу RTFOT наилучшую термостабильность проявляет добавка «Атлантик Вельбот 5004», а хуже всего показала результат добавка – «ДАД-1».

Как видно из исследования, не все адгезионные присадки способны обеспечить прочное сцепление с минеральным материалом, а также термостабильность свойств, не изменяя при этом физико-химические свойства исходного органического вяжущего.

В исследовании использовался исходный битум только одного производителя и отрицательное влияние адгезионных присадок может быть обусловлено не совместимым химическим составом адгезионной добавки с групповым составом битума, а также с минералогическим составом минерального материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мардиросова И.В., Еременко Е.А. Исследование влияния пиролизного масла на физико-химические свойства дорожных битумов // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство-2015». – 2015. С. 24–27.
2. Худякова Т.С. О битумах вязких замолвите слово // Мир дорог, С-Петербург, 2007, № 27, с. 61–65.
3. С.К. Илиополов, И.В. Мардиросова, И.В. Углова, О.К. Безродный. Органические вяжущие для дорожного строительства: учеб. пособие для вузов по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». – Ростов-на-Дону: Изд-во «Юг», 2003. – 428 с.
4. С.К. Илиополов, С.А. Чернов, Ю.А. Маловичко, Влияние модификатора и поверхностно-активных веществ на свойства комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей (тез. докл. науч. конф.) // Строительство-2012: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. – С. 31–33.

5. С.К. Илиополов, С.А. Чернов, И.В. Мардиросова Исследование процессов старения вязких дорожных битумов и некоторые аспекты их снижения // Строительство и реконструкция. – 2013. – №1 (45). – С. 69–75.
6. С.А. Чернов, И.В. Мардиросова, Н.А. Проценко Анализ ресурсосберегающих добавок, позволяющих получать «теплые асфальтобетонные смеси» со сниженным уровнем выброса вредных веществ // Мир Дорог. – 2016. – № 5. – С. 45–47.
7. Худякова Т.С. Сравнительный анализ эффективности адгезионных добавок разных марок / Т.С. Худякова // Дорожная держава. – 2008, – № 6. – С. 66–69.
8. Ядыкина В.В. Изменение сцепления битума с минеральным материалом при старении в присутствии адгезионных добавок.
9. Мардиросова И.В. Комплексное модифицированное вяжущее для холодных асфальтобетонных смесей / И.В. Мардиросова, С.А. Чернов // ДОРОГИ И МОСТЫ: сб. статей / ФГУП «РОСДОРНИИ». – М., 2010. – Вып. 23/1. – С. 228–237.
10. Повышение сцепных свойств нефтяного дорожного битума с поверхностью минеральных материалов за счет применения поверхностно-активного вещества «Амдор-9» // Каталог эффективных технологий, новых материалов и современного оборудования дорожного хозяйства. – М., 2009. – С. 99.
11. Золотарев В.А., Кудрявцева С.В., Ефремов С.В. Влияние адгезионных добавок на основе криптоанионных ПАВ на сцепление дорожного битума с минеральными материалами // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Х., 2008 Вып. 40.
12. Кудряшов П.А., Гермашев В.Г., Мартынов В.А. Исследование термостабильности адгезионных добавок // Сборник докладов ежегодной научной сессии Ассоциации Исследователей Асфальтобетона МАДИ (ГТУ). – М., 2011. – С. 23–31.
13. Шухов В.И. Влияние различных ПАВ на свойства асфальтобетона // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – №40.

Uglova Evgenia Vladimirovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: uglova.ev@yandex.ru

Eremenko Eugene Aleksandrovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: eremenkoeugene@gmail.com

Sikachyova Natalya Vladimirovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: natali_sikacheva@mail.ru

Kuzin Kirill Aleksandrovich

Avtodor-engineering LLC, Moscow, Russia
E-mail: k.kuzin@avtodor-eng.ru

Research of influence of adhesive additives on physical and chemical properties of road bitumens

Abstract. To increase the adhesion strength (wetting ability) of bitumen, and, consequently, reduce the likelihood of premature occurrence of defects formed on asphalt concrete coatings, it is necessary to use various kinds of surfactants that increase the adhesion ability of bitumen. Adhesive additives to road bitumens increase the mobility of the organic binder, help reduce the number of uncoated grains of mineral material, which facilitates the compaction of asphalt concrete mix.

One of the problems of durability of asphalt concrete pavements is the lack of strong adhesion of the bitumen film to the surface of the mineral material. To increase this strength, various adhesive additives are used, which affect not only the adhesive properties of bitumen, but also its physical and chemical properties.

The main task of the work is aimed at solving the issues of the influence of adhesive additives on the physicochemical properties of organic binders used in road construction. The quality assessment of the modified bitumen was carried out according to GOST 22245-90, which, at present, is guided by the selection of the composition of the asphalt concrete mixture.

As a result of the study, effective adhesive additives were identified that contribute to the minimal change in the physicochemical properties of viscous road bitumen and possess thermal stability under prolonged exposure to elevated temperatures. Studies have shown that almost all adhesive additives not only improve the adhesive properties of organic binders to mineral materials, but also can alter and even worsen the physicochemical properties of the original organic binder, which can adversely affect the properties of asphalt concrete. The study used the original bitumen from only one manufacturer and the negative effect of adhesive additives may be due to the incompatible chemical composition of the adhesive additive with the group composition of bitumen and the mineralogical composition of the mineral material.

Keywords: organic binder; road bitumen; adhesive additive; adhesion; physicochemical properties; surfactants; needle penetration depth; softening temperature; brittleness temperature; ductility; thermal stability; RTFOT method

REFERENCES

1. Mardirosova I.V., Eremenko E.A. (2015). Study of the effect of pyrolysis oil on the physico-chemical properties of road bitumen. *Materials of the international scientific-practical conference "Construction-2015"*, pp. 24–27 (in Russian).
2. Khudyakova T.S. (2007). About viscous bitumens put in a good word // *World of roads*, 27, pp. 61–65 (in Russian).
3. Iliopolov S.K., Mardirosova I.V., Uglova I.V., Bezrodnyy O.K. (2003). Organicheskie vyazhushchie dlya dorozhnogo stroitel'stva. [*Organic binders for road construction.*] Rostov-on-Don: Publishing House "South", p. 428.
4. Iliopolov S.K., Chernov S.A., Malovichko Yu.A. (2012). Vliyanie modifikatora i poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na svoystva kompleksno-modifitsirovannykh asfal'tobetonykh smesey. [*The effect of modifier and surfactants on the properties of complex-modified asphalt concrete mixtures.*] Rostov-on-Don: Russian State Social University, pp. 31–33.
5. Iliopolov S.K., Chernov S.A., Mardirosova I.V. (2013). Study of the aging process of viscous road bitumen and some aspects of their reduction. *Construction and reconstruction*, 1(45), pp. 69–75 (in Russian).
6. Chernov S.A., Mardirosova I.V., Protsenko N.A. (2016). Analysis of resource-saving additives that allow to obtain "warm asphalt concrete mixes" with a reduced level of emission of harmful substances. *Mir Dorog*, 5, pp. 45–47 (in Russian).
7. Khudyakova T.S. (2008). Comparative analysis of the effectiveness of adhesive additives of different brands. *Road Power*, 6, pp. 66–69 (in Russian).
8. Yadykina V.V. (n.d.). Izmenenie stsepleniya bituma s mineral'nym materialom pri starenii v prisutstvii adgezionnykh dobavok. [*The change in the adhesion of bitumen with mineral material during aging in the presence of adhesive additives.*]
9. Mardirosova I.V., Chernov S.A. (2010). Complex modified binder for cold asphalt mixes. *Roads and bridges*, 23(1), pp. 228–237 (in Russian).
10. (2009). Povyshenie stsepnnykh svoystv neftyanogo dorozhnogo bituma s poverkhnost'yu mineral'nykh materialov za schet primeneniya poverkhnostno-aktivnogo veshchestva «Amdor-9». [*Improving the adhesion properties of oil road bitumen with the surface of mineral materials through the use of surfactant "Amdor-9".*] Moscow, p. 99.
11. Zolotarev V.A., Kudryavtseva S.V., Efremov S.V. (2008). Influence of adhesive additives based on cryptoanionic surfactants on the adhesion of bitumen with mineral materials. *Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University*, 40(10) (in Russian).
12. Kudryashov P.A., Germashev V.G., Martynov V.A. (2011). Issledovanie termostabil'nosti adgezionnykh dobavok. [*Investigation of the thermal stability of adhesive additives.*] Moscow: Collection of reports of the annual scientific session of the Association of Asphalt Concrete Researchers Moscow Automobile and Road State Technical University, pp. 23–31.
13. Shukhov V.I. (2008). The influence of various surfactants on the properties of asphalt concrete. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University*, 40 (in Russian).