

Определение эффективности влияния различных адгезионных добавок на эксплуатационные показатели свойств асфальтобетона

Н.С. Миронов, С.А. Чернов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматривается влияние адгезионных добавок на эксплуатационные свойства асфальтобетона. Авторы дают всесторонний обзор проблемы долговечности слоёв асфальтобетона, в частности, в осенне-весенний период, подчёркивая важность данного вопроса для безопасности движения. Затем они обсуждают роль адгезионных добавок в улучшении эксплуатационных характеристик асфальтобетона за счёт улучшения его физико-механических свойств. Авторами был выбран ряд адгезионных добавок, а также осуществлён подбор асфальтобетонной смеси по методологии объёмно-функционального проектирования. В статье присутствует подробное описание метода определения водостойкости и адгезионных свойств. Также авторами рассматривается влияние адгезионных добавок на усталостную долговечность асфальтобетона. В тексте статьи приводится подробное описание метода определения усталостной прочности при многократном изгибе. В заключении статьи подчёркивается важность применения адгезионных добавок для повышения эксплуатационных характеристик и долговечности асфальтобетона. Авторы подчёркивают важность исследования для продления срока службы слоёв асфальтобетона и увеличения их межремонтных сроков.

Ключевые слова: битум, адгезионная добавка, низкотемпературное свойство, водостойкость, усталостные свойства, подбор состава, объёмно-функциональное проектирование, долговечность, автомобильная дорога, асфальтобетон, испытание.

Безопасность автомобильных дорог является одной из самых приоритетных задач дорожной отрасли. На безопасность дорог влияет множество факторов. Но один из самых важных – качество покрытия дороги, которое в большинстве случаев состоит из асфальтобетонных слоёв.

Долговечность асфальтобетонных слоёв [1] заключается в их способности длительное время противостоять различным разрушающим факторам: нагрузки от транспортных средств, изменения температурного режима, солнечная радиация и т.д.

С течением времени эта способность снижается за счёт изменения, в частности, реологических свойств битума [2], вследствие чего на асфальтобетонном покрытии появляются различные дефекты: от небольших трещин в начале до серьёзных разрушений – выбоин, ям и т.д.

Особенно тяжёлый период эксплуатации слоёв асфальтобетона приходится на зимнее время при отрицательных температурах, а также при множественных циклах замораживания/оттаивания. Данные циклы могут повторяться за сутки до нескольких раз, что крайне негативно сказывается на слоях асфальтобетона, разрушая структуру слоёв. Кроме этого, в зимнее время покрытие подвергается воздействию противогололёдных солей и различных химикатов, что также оказывает отрицательное влияние на свойства асфальтобетона [1].

Вследствие множественных циклов замораживания/оттаивания вода проникает в поры асфальтобетона, расширяется при замерзании, образуя трещины в покрытии и в дальнейшем увеличивая их вплоть до серьёзных дефектов.

Исследование данной темы не теряет актуальности уже долгие годы и, несомненно, будет оставаться таким из-за невозможности полностью исключить негативное воздействие погодно-климатических факторов на дорожную конструкцию.

Существует несколько способов, чтобы увеличить жизненный цикл слоёв асфальтобетона и, в частности, снизить негативное влияние воды на его слои. Одним из таких методов является модификация битума [3] – основного компонента асфальтобетона, формирующего прочные связи с каменным материалом.

Однако, не всегда свойств применяемого битума достаточно, чтобы обеспечить прочную связь битума с каменным материалом [4] на протяжении всего срока службы слоёв асфальтобетона. На данный момент на рынке дорожного строительства представлено множество добавок, способных влиять на реологические свойства дорожных битумов. Одними из них являются адгезионные добавки [5].

Положительное воздействие адгезионных добавок на битум [6] обусловлено их способностью проникать в битумную матрицу и образовывать сеть межмолекулярных взаимодействий, которая улучшает его эксплуатационные свойства.

Целью исследования является определение эффективности влияния различных адгезионных добавок на эксплуатационные показатели свойств асфальтобетона.

Взаимодействие минеральных материалов, органического вяжущего и адгезионной добавки в составе асфальтобетона должно обеспечивать его оптимальную структуру, работоспособность и долговечность [1].

Из-за большого разнообразия минеральных материалов и вяжущих, применяемых при производстве асфальтобетонных смесей, сложных условий, в которых должен работать асфальтобетон, и большого перечня адгезионных добавок, различающихся составом, рекомендуемой концентрацией и воздействием на вяжущее [7] и процессы на границе раздела фаз битум – минеральный материал, в каждом конкретном случае применение адгезионных добавок сказывается на адгезии и физико-механических характеристиках асфальтобетона индивидуально [8]. Таким образом, адгезионные добавки, используемые в составе асфальтобетонных смесей, кроме непосредственно увеличения адгезии, должны не ухудшать свойства вяжущего и асфальтобетона, в том числе и во времени [9].

Положительный эффект от использования адгезионных добавок достигается лишь при их оптимальной концентрации [10], которую уточняют в каждом конкретном случае с учетом применяемого битума, природы и свойств используемых минеральных материалов.

Критерием назначения оптимального содержания адгезионных добавок служат показатели свойств асфальтобетонов, в первую очередь водостойкость [11].

Исходя из климатических особенностей и частого перехода через ноль в осенне-зимний период необходимо оценивать работу асфальтобетона в конструкции по показателям усталостных свойств при отрицательных температурах [11].

Для проведения исследования были выбраны следующие адгезионные добавки:

- АМДОР-9;
- АМДОР-10;
- ДАД-1 марки А;
- ДАД-1 марки С.

Выбор данного вида добавок обусловлен их положительным воздействием не только на вяжущее, но и на асфальтобетон в целом:

- улучшенная адгезия: данный тип добавок может улучшить адгезию между битумом и каменным материалом в слоях асфальтобетона. Это повышает общую прочность и долговечность дорожного покрытия, снижая риск образования трещин и других форм повреждений;

- повышенная термостойкость: данный тип добавок может повысить термостойкость битума, позволяя ему лучше работать при большем диапазоне температур. Это может снизить риск образования колеи, деформаций и других форм повреждений, вызванных колебаниями температуры под действием нагрузок [6].

- замедление старения: адгезионные добавки могут помочь замедлить процесс старения битума. Это может продлить срок службы асфальтобетонного покрытия и увеличить его межремонтный срок, что скажется на экономической выгоде.

- повышение водостойкости: данный тип добавок может улучшить влагостойкость битума, снижая риск повреждения, вызванного проникновением воды. Это может снизить риск образования трещин, выбоин

и других форм повреждений, особенно в районах с большим количеством осадков, снегопадов и частых температурных переходов в течении суток через ноль.

Технические характеристики применяемых добавок представлены в таблице №1.

Таблица №1

Технические характеристики адгезионных добавок

Наименование добавки	АМДОР-9	АМДОР-10	ДАД-1 марки А	ДАД-1 марки С
Внешний вид, цвет	Вязкая жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета	Вязкая жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета	Вязко-текучая жидкость от светло-жёлтого до темно-коричневого цвета	Вязко-текучая жидкость коричневого цвета
Массовая доля воды, %, не более	2	2	0,5	2,0
Сцепление вяжущего с минеральной частью смеси по ГОСТ Р 58406.2, баллов, не менее	4	4	4	4
Дозировка от массы вяжущего, %	0,15-0,5	0,15-0,5	0,4-0,8	0,4-0,8

Для экспериментальных исследований по определению влияния различных адгезионных добавок на эксплуатационные показатели свойств была выбрана асфальтобетонная смесь SP22Э по ГОСТ Р 58401.1-2019 по методологии объемно-функционального проектирования.

Подбор состава асфальтобетонной смеси SP22Э был осуществлен при строгом соблюдении методики по ГОСТ Р 58401.3-2019. Исходные минеральные материалы (щебень, дробленый песок и минеральный порошок) были испытаны и просеяны через набор сит на соответствие требованиям ГОСТ 32703-2014, ГОСТ 32730-2014 и ГОСТ 32761-2014. Важным этапом подбора асфальтобетонной смеси SP22Э является правильное определение

объемных и максимальных плотностей применяемых минеральных материалов.

В качестве вяжущего применялось битумное вяжущее марки PG 64-28, которое было испытано на соответствие требованиям ГОСТ Р 58400.1-2019.

После проведения всех необходимых испытаний исходных материалов и органического вяжущего, было подобрано три различных кривых зернового состава асфальтобетонной смеси SP22Э с целью определения объемных показателей свойств и выбора оптимального состава для выполнения дальнейших работ.

Кривые зерновых составов каждого из вариантов представлены в таблице №2.

Таблица №2

Кривые зерновых составов трёх вариантов смесей SP-22Э

Размер ячейки сита	Полные проходы в %			Требования ГОСТ 58401.1-2019	
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	макс	мин
31,5	100	100,0	100,0	100	100
22,4	98,7	98,2	97,9	100	90
16,0	88,5	84,6	82,1	90	-
11,2	77,0	69,8	67,1	-	-
8,0	63,9	57,0	49,7	-	-
4,0	38,5	33,5	30,0	-	-
2,0	26,0	22,6	20,3	45	19
1,0	17,0	15,2	13,4	-	-
0,5	12,0	11,0	9,6	-	-
0,125	7,0	6,8	5,7	-	-
0,063	5,6	5,5	4,6	7	1

Приготовление асфальтобетонной смеси SP-22Э осуществлялось в лабораторных условиях путем перемешивания в лопастной асфальтосмесительной установке исходных дорожно-строительных материалов и органического вяжущего. Рекомендуемая температура смеси

при приготовлении в зависимости от применяемого битумного вяжущего соответствовала температурному интервалу смешивания и составляла 169 °С.

Уплотнение образцов из асфальтобетонной смеси производилось на вращательном уплотнителе «Gyrator Compactor 5850 Troxler» путем приложения вертикальной нагрузки через концевые плиты с вращением продольной оси формы с заданным углом.

По истечении 12 часов, образцы асфальтобетона SP-22Э были высушены до постоянной массы в сушильном шкафу, а затем испытаны по показателям объемных свойств, в соответствии с ГОСТ Р 58401.1-2019.

Полученные показатели объемных свойств асфальтобетона SP22Э представлены в таблице №3.

Таблица №3

Результаты определения объемных свойств трех вариантов смеси SP-22Э

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58401.1-2019	Фактические показатели образцов из асфальтобетонной смеси SP-22Э, запроектированной по составу		
		№ 1	№ 2	№ 3
Объемная плотность, G_{mb} , г/см ³	-	2,402	2,385	2,371
Максимальная плотность, G_{mm} , г/см ³	-	2,469	2,485	2,503
Содержание пустоты в минеральном заполнителе, ПМЗ, % не менее	12,4	13,0	13,9	14,6
Содержание воздушных пустот при $N_{нач}$, %	$\geq 11,0$	12,5	13,1	13,8
Содержание воздушных пустот при $N_{пр}$, %	$4 \pm 0,3$	2,7	4,0	5,3
Содержание воздушных пустот при $N_{макс}$, %	$\geq 2,0$	1,9	2,4	2,8
Отношение пыль/вяжущее	0,8-1,6	1,3	1,3	1,0
Содержание пустот заполненных битумным вяжущим, ПНБ, %	От 65 до 75	79	71	64

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод, что оптимальным по совокупности всех факторов является вариант №2, который и принимается для дальнейшего подбора.

Для определения оптимального количества, вяжущего были приготовлены пробы асфальтобетонной смеси выбранного варианта смеси (в данном случае варианта №2) с различным количеством вяжущего, равным:

- $P_{\text{верасч}}$ (4,8 %);
- на 0,5 % менее $P_{\text{верасч}}$ (4,3 %);
- на 0,5 % более $P_{\text{верасч}}$ (5,3 %);
- на 1,0 % более $P_{\text{верасч}}$ (5,8 %).

Далее были определены объемные свойства образцов с различным количеством вяжущего. Результаты испытаний приведены в таблице №4.

Таблица №4

Результаты испытаний образцов из асфальтобетонной смеси SP-22Э с различным содержанием вяжущего

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58401.1-2019	Фактические показатели			
Содержание вяжущего, $P_{\text{в}}$, %	-	4,3	4,8	5,3	5,8
Объемная плотность, $G_{\text{мб}}$, г/см ³	-	2,362	2,385	2,401	2,415
Максимальная плотность, $G_{\text{мм}}$, г/см ³	-	2,498	2,485	2,482	2,480
Содержание воздушных пустот $P_{\text{а}}$, %	4,00±0,30	5,4	4,0	3,3	2,6
Пустоты в минеральном заполнителе, ПМЗ, % не менее	11,50	14,7	13,9	13,3	12,8
Пустоты наполненные вяжущим, ПНВ, %	65-75	63	71	75	80

После определения оптимального количества вяжущего была приготовлена и уплотнена контрольная проба асфальтобетонной смеси выбранного состава с оптимальным количеством вяжущего.

Важным этапом проведения исследования является определение оптимальной концентрации адгезионных добавок в составе асфальтобетонных смесей. Для этого в лабораторных условиях проводятся испытания по определению адгезии минерального материала к вяжущему с адгезионными добавками в своем составе и без. Образцы испытывают с

различными дозировками с целью определить наименьшую концентрацию при требуемой эффективности добавки.

По результатам испытаний были приняты следующие процентные концентрации адгезионных добавок:

- АМДОР-9 в количестве 0,3% от массы вяжущего
- АМДОР-10 в количестве 0,3% от массы вяжущего
- ДАД-1 марки А в количестве 0,6% от массы вяжущего
- ДАД-1 марки С в количестве 0,5% от массы вяжущего.

После определения необходимой концентрации адгезионных добавок, была задача ввести их в оптимально подобранный состав асфальтобетонной смеси SP22Э с целью определения соответствия требованиям ГОСТ Р 58401.1-2019. Асфальтобетон SP22Э по показателям объемных свойств соответствовал требованиям нормативно-технической документации.

Следующим этапом являются испытания по определению водостойкости TSR и адгезионных свойств.

Сущность метода заключается в определении отношения предела прочности при непрямом растяжении серии образцов после воздействия воды и цикла "замораживание-оттаивание", и предела прочности при непрямом растяжении серии образцов, выдержанных на воздухе при температуре (22 ± 3) °С.

Для проведения исследования в подобранный оптимальный состав асфальтобетонной смеси SP22Э были введены различные адгезионные добавки.

Адгезионная добавка вводится непосредственно в битум перед началом приготовления асфальтобетонной смеси путем принудительного перемешивания.

Технология приготовления асфальтобетонной смеси SP22Э с добавлением адгезионных добавок и без в лабораторных условиях состояла из выполнения следующих операций:

1. Разогрев инертных минеральных материалов (крупнозернистый заполнитель, мелкозернистый заполнитель) до температуры на (20 ± 5) °С выше температуры смешивания (163-169°С).

2. Подача на горячие каменные материалы минерального порошка и перемешивание в течение 15 сек.

3. Подача на перемешанные минеральные материалы органического вяжущего разогретого до температуры 160 °С, имеющего в своем составе адгезионную добавку в определенном соотношении в зависимости от ее типа и перемешивание всех компонентов смеси до достижения однородности.

В соответствии с ГОСТ Р 58401.13-2019, на вращательном уплотнителе были сформованы шесть образцов диаметром 150 мм и высотой 95 мм с количеством воздушных пустот, равным $(7,0 \pm 0,5)$ %. Уплотненные образцы выдерживали при температуре (22 ± 3) °С в течение (24 ± 3) ч. После чего образцы разделили на две группы по три образца в каждой.

Образцы второй группы насытили водой в вакуумной установке до степени насыщения 70-80%. Затем обернули их в пленку и поместили каждый отдельно в герметичные полиэтиленовые пакеты, добавив в каждый 10 мл воды. Подготовленные образцы поместили в морозильную камеру при температуре от минус 15°С до минус 21°С на 16 часов. По истечении 16 часов образцы извлекли из морозильной камеры, удалили пленку и полиэтиленовый пакет и поместили в водяной термостат с температурой 60°С на 24 часа. После чего образцы достали из термостата и поместили в водяную ванну при температуре 20°С на 120 минут.

Образцы из первой группы обернули в герметичные пакеты и сразу поместили в водяную ванну, где выдерживали 120 минут при температуре 20°C.

После термостатирования в водяной ванне у всех образцов замерили высоту и раздавили, фиксируя нагрузку на механическом прессе при скорости деформации равной 50мм в минуту с применением обжимного устройства до полного разрушения образца на две части. Важным условием является приложение нагрузки строго по вертикальной диаметральной оси образца. (рис.1).



Рис. 1. - Установка для определения предела прочности при непрямом растяжении

Адгезионные свойства асфальтобетона SP22Э с различными добавками и без определяли на разломившихся поверхностях образцов из второй группы. Оценку выставляли по пятибалльной шкале – чем больше количество разрушений было выявлено на разломившейся поверхности образца, тем ниже оценка. Разрушениями на поверхности образца принято считать участки, на которых произошло отслаивание битумной пленки от

каменного материала или места разрушения самого каменного материала [12].

Коэффициент водостойкости TSR вычисляли как отношение среднеарифметических пределов прочности при непрямом растяжении между второй и первой группами образцов по формуле:

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \quad (1)$$

где S_2 — среднеарифметическое значение предела прочности при непрямом растяжении образцов из второй группы, кПа;

S_1 — среднеарифметическое значение предела прочности при непрямом растяжении образцов из первой группы кПа.

Результаты определения водостойкости TSR и адгезионных свойств асфальтобетонов с различными добавками представлены в таблице №5.

Таблица №5

Результаты испытаний асфальтобетона SP-22Э по определению водостойкости TSR и адгезионных свойств с различными добавками

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58401.1-2019, ГОСТ Р 58401.18-2019	Фактические показатели коэффициента водостойкости TSR и адгезионных свойств асфальтобетона SP22Э (в скобках указан процент введенной добавки от массы вяжущего)				
		SP22Э без адгезионной добавки	SP22Э+ Амдор 9 (0,3%)	SP22Э+ Амдор 10 (0,3%)	SP22Э+ ДАД-1 марки А (0,6%)	SP22Э+ ДАД-1 марки С (0,5%)
Коэффициент водостойкости TSR	не менее 0,80	0,81	0,89	0,90	0,88	0,87
Адгезионные свойства	От двух баллов до пяти	2	5	5	4	4

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что применение адгезионных добавок попросту необходимо, так как это способствует повышению не только адгезионных свойств асфальтобетона SP22Э, но и коэффициента водостойкости TSR, что ведет к повышению долговечности за счет улучшенного контакта мастичной составляющей с минеральной частью.

Для определения усталостных свойств асфальтобетона SP22Э проведены испытания на приборе CRT-SA4PT-BB - сервопневматическая система для определения усталости при четырехточечном изгибе асфальтобетонных образцов-балочек (рис.2) в соответствии с методикой ГОСТ Р 58401.11-2019.

Образцы-балочки установленных размеров получили путем выпиливания из образцов-плит, приготовленных на вальцовом уплотнителе по методике ГОСТ Р 58406.4-2019 (рис.3).



Рис. 2, 3 – Прибор для определения усталостного трещинообразования и вальцовый уплотнитель

Сущность метода заключается в воздействии на образцы в виде балочек синусоидального осевого сжимающего ужения, при контролируемой деформации [13]. Испытательная машина позволяет прикладывать синусоидальную нагрузку к образцу специальным механизмом к двум внутренним зажимам, установленным на образце. Получаемые данные характеризуют усталостную стойкость материала при циклическом воздействии прилагаемой нагрузки под воздействием температуры. Испытания асфальтобетонов под воздействием циклических синусоидальных нагрузок позволяют моделировать реальные условия нагружения асфальтобетона в покрытии.

Перед проведением испытания было необходимо термостатировать готовые образцы-балочки в температурной камере. С целью определения влияния адгезионных добавок на низкотемпературные свойства асфальтобетона, были выбраны температуры испытания 0°C и минус 10°C [14].

По окончании термостатирования образец поместили в установку, опустили зажимные механизмы, выставили линейно регулируемый дифференциальный датчик щупом к поверхности испытываемого образца. Исходный уровень деформации составил 250 мкм/м , а частота приложения нагрузки составила 10 Гц .

По результатам испытания на экране монитора строится график изменения модуля жесткости от количества циклов приложения нагрузки. Начальным модулем жёсткости [15] асфальтобетона считается значение на 50-м цикле приложения нагрузки. Испытание проводилось до тех пор, пока жесткость образца не снизилась до 50% и более от начальной жесткости – это считается моментом разрушения образца.

Результаты испытания асфальтобетона SP-22Э по показателю усталостных свойств с применением различных адгезионных добавок и без при температуре 0°C представлены в таблице №6.

Таблица №6

Результаты испытаний асфальтобетона SP-22Э по показателю усталостных свойств с применением различных адгезионных добавок и без при температуре 0°C

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58401.1-2019	Фактические показатели усталостной прочности и модуля жесткости асфальтобетона SP22Э при температуре 0°C (в скобках указан процент введенной добавки от массы вяжущего)				
		SP22Э без адгезионной добавки	SP22Э+ Амдор 9 (0,3%)	SP22Э+ Амдор 10 (0,3%)	SP22Э+ ДАД-1 марки А (0,6%)	SP22Э+ ДАД-1 марки С (0,5%)
Усталостная прочность, количество циклов до падения модуля жесткости на 50% при температуре 0°C	Для набора статистических данных	31 139	33 176	33 484	32 287	32 621
Модуль жесткости испытуемого образца на 50-ом цикле приложения нагрузки при температуре 0°C, МПа	Для набора статистических данных	11 265	11 386	11 404	11 132	11 294

Результаты испытания асфальтобетона SP-22Э по показателю усталостных свойств с применением различных адгезионных добавок и без при температуре 0°С представлены в таблице №7.

Таблица №7

Результаты испытаний асфальтобетона SP-22Э по показателю усталостных свойств с применением различных адгезионных добавок и без при температуре минус 10°С

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58401.1-2019	Фактические показатели усталостной прочности и модуля жесткости асфальтобетона SP22Э при температуре минус 10°С (в скобках указан процент введенной добавки от массы вяжущего)				
		SP22Э без адгезионной добавки	SP22Э+ Амдор 9 (0,3%)	SP22Э+ Амдор 10 (0,3%)	SP22Э+ ДАД-1 марки А (0,6%)	SP22Э+ ДАД-1 марки С (0,5%)
Усталостная прочность, количество циклов до падения модуля жесткости на 50% при температуре минус 10°С	Для набора статистических данных	13 347	13 690	13 741	13 287	13 304
Модуль жесткости испытуемого образца на 50-ом цикле приложения нагрузки при температуре минус 10°С, МПа	Для набора статистических данных	18 421	18 764	18 903	18 464	18 391

Исходя из полученных данных при отрицательных температурах, видим, что модуль жесткости асфальтобетонов с применением адгезионных добавок практически не изменился из-за отсутствия в своем составе элементов, способных повлиять на несущую прочность материала. Что касается незначительного увеличения количества циклов, то это обуславливается как раз-таки влиянием адгезионных добавок на повышение адсорбционных связей на границе раздела фаз «битум-минеральный материал». Увеличение количества циклов асфальтобетона SP22Э при минус 10°C не столь значительно по сравнению с данными при температуре 0°C, что обуславливается ростом модуля жёсткости и отрицательной температурой.

Основываясь на результатах проведенного исследования можно с уверенностью сказать, что использование адгезионных добавок в составе асфальтобетонных смесей просто необходимо. Без их применения достижение высоких показателей эксплуатационных свойств практически невозможно. Нужно отметить, что полученные результаты распространяются на образцы, приготовленные в лабораторных условиях на определенном каменном материале, с применением определенного органического вяжущего и для конкретного типа асфальтобетона. Адгезионная добавка в составе асфальтобетонной смеси обеспечивает наилучшую связь между минеральным материалом и органическим вяжущим, показывая эффективность адгезии не ниже 4-5 баллов и как следствие повышает сопротивление асфальтобетона к преждевременному разрушению. Показатель «Водостойкость TSR» ярче всего отражает работу адгезионной добавки в составе асфальтобетона, а цикл замораживание/оттаивание позволяет агрессивной среде воздействовать на образец, создавая условия, максимально приближенные к действительности. Результаты показателя «Водостойкости и адгезионных свойств» прямо говорят о необходимости

применения адгезионных добавок в составе асфальтобетонных покрытий. Что касается значений усталостных свойств, то мы видим, как происходит пусть и незначительное увеличение количества циклов до 50% падения жесткости, что говорит о возможности повысить межремонтные сроки и о необходимости продолжения исследований.

Литература

1. Илиополов С.К., Углова Е.В. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств. – М, Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта РФ, 2007. – 47 с.

2. Худякова Т.С. О битумах вязких замолвите слово // Мир дорог. С-Петербург, 2007, No 27, с. 61–65.

3. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве; пер. с франц. д-ра т.н. В.А. Золотарева, инж. Л.А. Беспаловой / под общ. ред. д-ра т.н. В.А. Золотарева, д-ра т.н. В.И. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 229 с.

4. Шухов В.И. Влияние различных ПАВ на свойства асфальтобетона // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. No40. URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlychnyh-pav-na-svoystva-asfaltobetona (дата обращения 10.03.2023)

5. Кулик Е. П. Влияние адгезионных добавок на основе катионных ПАВ на сцепление дорожного битума с минеральными материалами // Вестник ХНАДУ. 2005. №30. URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-adgezionnyh-dobavok-na-osnove

kriptoanionnyh-pav-na-stseplenie-dorozhnogo-biguma-s-mineralnymi-materialami (дата обращения: 10.03.2023).

6. Ромасюк Е.А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. 2015г. - 175с.

7. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Инфра-М, 2010. 257 с.

8. Черсков Р.М. Комплексо-модифицированный дорожный асфальтобетон с повышенной устойчивостью к транспортным и погодноклиматическим воздействиям: дис. ... к.т.н. Ростов-на-Дону 2009. - 203 с.

9. Иванов Н. Н., Горельшев Н. В. Пути увеличения долговечности асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги, № 1— М.: 1964. — с. 21-25.

10. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Углова И.В., Безродный О.К. Органические вяжущие для дорожного строительства: учеб. пособие для вузов по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». – Ростов-на-Дону: Изд-во «Юг», 2003. – 428 с.

11. Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Водо- и морозостойкость асфальтобетона приготовленного на битуме, модифицированном сэвиленом.// Строительство и архитектура., 2015г. – 5с.

12. Золотарев Виктор Александрович, Кудрявцева Светлана Викторовна, Ефремов С. В. Влияние совместного введения полимеров и адгезионных добавок на свойства битумов // Вестник ХНАДУ. 2008. №40. URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sovmestnogo-vvedeniya-polimerov-i-adgezionnyh-dobavok-na-svoystva-bitumov (дата обращения: 12.03.2023).

13. Конорева О.В. Анализ методов прогнозирования усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий // Научное обозрение. 2014. № 11. С. 727-731.

14. Телтаев Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог // Дорожная техника. – СПб, 2011. – С. 88 – 100.

15. Смирнов В. М. Определение усталостной прочности материалов монолитных слоев дорожных одежд // Труды Союздорнии. – М., 1990. – С. 110 – 115.

References

1. Iliopolov S.K., Uglova E.V. Dolgovechnost` asfal`tobetonny`x pokry`tiĭ v usloviyax rosta dinamicheskogo vozdejstviya transportny`x sredstv. [Durability of asphalt concrete pavements in conditions of increasing dynamic impact of vehicles]. М, Federal`noe dorozhnoe agentstvo Ministerstva transporta RF, 2007. 47 p.

2. Xudyakova T.S. Mir dorog, S-Peterburg, 2007, No 27, pp. 61–65.

3. Vsemirnaya dorozhnaya asociaciya. Texnicheskij komitet «Nezhestkie dorogi» (S8). Modificirovanny`e bitumny`e vyazhushhie, special`ny`e bitumy` i bitumy` s dobavkami v dorozhnom stroitel`stve [Modified bitumen binders, special bitumen and bitumen with additives in road construction]; per. s francz. d-ra t.n. V.A. Zolotareva, inzh. L.A. Bepalovoj, pod obshh. red. d-ra t.n. V.A. Zolotareva, d-ra t.n. V.I. Bratchuna. Xar`kov: Izd-vo XNADU, 2003. 229 p.

4. Shuxov V.I. Vestnik Xar`kovskogo nacional`nogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta. 2008. № 40. URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlychnyh-pav-na-svoystva-asfaltobetona (date accessed 10.03.2023)

5. Kulik E. P. Vestnik XNADU. 2005. №30. URL: cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-adgezionnyh-dobavok-na-osnove-kriptoanionnyh-pav-na-stseplenie-dorozhnogo-biguma-s-mineralnymi-materialami (date accessed: 10.03.2023).

6. Romasyuk E.A. Dorozhny`e asfal`topolimerbetony` s kompleksno-modificirovannoj strukturoj povy`shennoj ustalostnoj dolgovechnosti. Donbasskaya nacional`naya akademiya stroitel`stva i arxitektury` [Road asphalt polymer concrete with a complex modified structure of increased fatigue durability]. 2015. 175p.

7. Rudenskaya I.M., Rudenskij A.V. Organicheskie vyazhushhie dlya dorozhnogo stroitel`stva [Organic binders for road construction]. M.: Infra-M, 2010. 257 p.

8. Cherskov R.M. Komplekso-modificirovanny`j dorozhny`j asfal`to-beton s povy`shennoj ustojchivost`yu k transportny`m i pogodno-klimaticheskim vozdejsviyam [Complex-modified asphalt road concrete with increased resistance to transport and weather-climatic impacts]: dis. ... k.t.n. Rostov-na-Donu 2009. 203 p.

9. Ivanov N. N., Gorely`shev N. V. Avtomobil`ny`e dorogi, № 1. M.: 1964. pp. 21-25.

10. Iliopolov S.K., Mardirosova I.V., Uglova I.V., Bezrodny`j O.K. Organicheskie vyazhushhie dlya dorozhnogo stroitel`stva [Organic binders for road construction]: ucheb. posobie dlya vuzov po special`nosti «Avtomobil`ny`e dorogi i ae`rodromy`». Rostov-na-Donu: Izd-vo «Yug», 2003. 428 p.

11. Yady`kina V.V., Gridchin A.M. Vodo- i morozostojkost` asfal`tobetona prigotovlennogo na bitume, modificirovannom se`vilenom [Water and frost resistance of asphalt concrete prepared on bitumen modified with savylene]. Stroitel`stvo i arxetiktura., 2015. 5 p.

12. Zolotarev Viktor Aleksandrovich, Kudryavceva Svetlana Viktorovna, Efremov S. V. Vestnik XNADU. 2008. №40. URL: cyberleninka.ru/article/n/



vliyanie-sovmestnogo-vvedeniya-polimerov-i-adgezionnyh-dobavok-na-svoystva-bitumov (date accessed: 12.03.2023).

13. Konoreva O.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 11. pp. 727-731.

14. Teltaev B. B. Dorozhnaya texnika. SPb, 2011. pp. 88 – 100.

15. Smirnov V. M. Trudy` Soyuzdornii. M., 1990. pp. 110 – 115.