

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-24-31

Ястремский Д.А.

Тюменский индустриальный университет

E-mail: yaster.dmitry@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ МЕТОДАМИ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. Увеличение объемов щебеночно-мастичного асфальтобетона, применяемого в верхних слоях покрытий автомобильных дорог, требует разработки эффективных стабилизирующих добавок, обеспечивающих однородность асфальтобетонной смеси в период кратковременного хранения и транспортировки, а также улучшение свойств асфальтобетона. К числу таких добавок можно отнести комплексную стабилизирующую добавку следующего состава: 90 % целлюлозные волокна из макулатуры, 5 % резиновый порошок, 5 % вязкий нефтяной битум марки БНД 90/130. В данной статье приведены результаты исследования битума с добавкой «Viator 66» и комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой (КСД). С помощью метода ИК-Фурье спектроскопии получены графические данные, в результате анализа которых установлено, что взаимодействие стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона с битумом приводит к появлению дополнительных полос поглощения, характерных для ароматических соединений (СН, бензольного кольца), серосодержащих функциональных групп S=O ст, R-SO-R, R-SO-OH, R-SO₂-R, C=S ст, а также для групп С-О-Н. Рентгеноспектральный анализ подтвердил наличие дополнительных серосодержащих спектров в составе стабилизирующих добавок. Установлено, что в зависимости от химического состава стабилизирующих добавок, физико-механические характеристики битумного вяжущего и полученного асфальтобетона изменяются.

Ключевые слова: асфальтобетон, щебеночно-мастичный асфальтобетон, стабилизирующая добавка, инфракрасная спектроскопия, битум.

Введение. В настоящее время одним из самых распространённых материалов при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Свою популярность он получил за счёт высоких прочностных характеристик, которые позволяют сделать такой материал наиболее долговечным. Примечательно то, что в отличие от традиционных асфальтобетонов в составе ЩМА присутствуют стабилизирующие добавки, основная задача которых предотвратить расслоение смеси в период кратковременного хранения и укладки асфальтобетона. Авторами в данной работе было изучено влияние стабилизирующих добавок на битум БНД 90/130 с помощью ИК-Фурье спектроскопии и рентгеноспектрального анализа. Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефтяного происхождения, в том числе парафиновых (С_nH_{2n+2}), нафтеновых (С_nH_{2n}), ароматических (С_nH_{2n-6}) рядов, а также их производных, содержащих кислород, серу, азот и комплексные соединения металлов. Введение стабилизирующих добавок различной природы и химического состава позволит модифицировать битум, улучшая его реологические характеристики [1-10].

Методика. Для проведения качественного и количественного фазового анализа был применён метод ИК-Фурье спектроскопии на приборе

«Nicolet iS10». Метод инфракрасной спектроскопии является универсальным физико-химическим методом, который применяется в исследовании структурных особенностей различных органических и неорганических соединений. Метод основан на явлении поглощения группами атомов испытуемого объекта электромагнитных излучений в инфракрасном диапазоне. Поглощение связано с возбуждением молекулярных колебаний квантами инфракрасного света. При облучении молекулы инфракрасным излучением поглощаются только те кванты, частоты которых соответствуют частотам валентных, деформационных колебаний молекул. Достоинства ИК-Фурье спектрометра: высокое отношение сигнал - шум, возможность работы в широком диапазоне длин волн без смены диспергирующего элемента, быстрая регистрация спектра, высокая разрешающая способность до 0,001 см⁻¹.

Результатом исследования является зависимость интенсивности рассеянного излучения от угла рассеяния [11]. Исследование проводилось на образцах: №1 Битум БНД 90/130; № 2 Битум БНД 90/130 + «Viator 66»; № 3 Битум БНД 90/130 + КСД. ИК спектры соединений регистрировали в диапазоне 4000-400 см⁻¹ (рис. 1). Обработку результатов исследования проводили с помощью программного комплекса «OMNIC».

Подготовка образцов исследования прово-

дидась следующим образом: из заранее подготовленных образцов № 1, № 2, № 3 была отобрана средняя проба битума. Данные пробы тщательно перемешивались с порошком КВг в соотношении 1:100, после чего помещались в ИК-Фурье спектрофотометр «Nicolet iS10», с помощью которого

была произведена запись ИК спектров всех образцов.

Основная часть. Результаты ИК-Фурье спектроскопии образцов № 1, № 2, № 3 приведены на рис. 1.

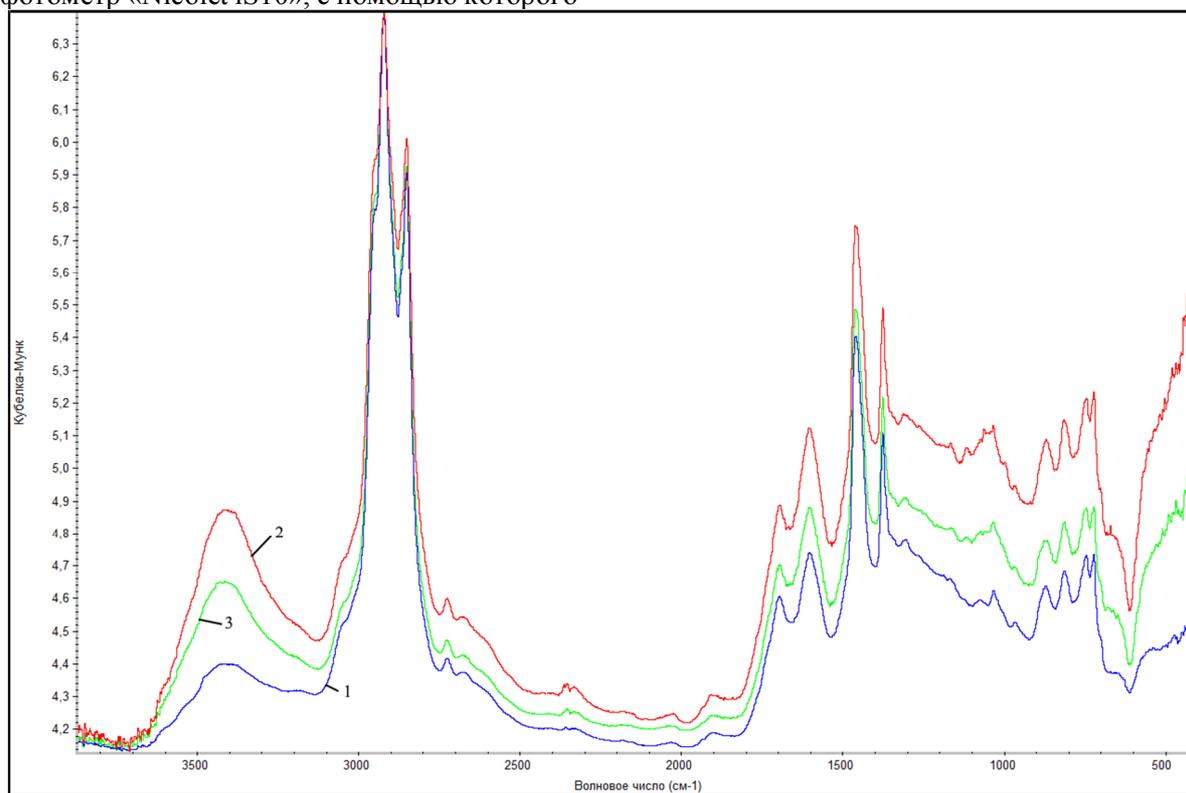


Рис. 1. ИК спектры образцов: № 1 Битум БНД 90/130; № 2 Битум БНД 90/130 + «Viator 66»; № 3 Битум БНД 90/130 + КСД

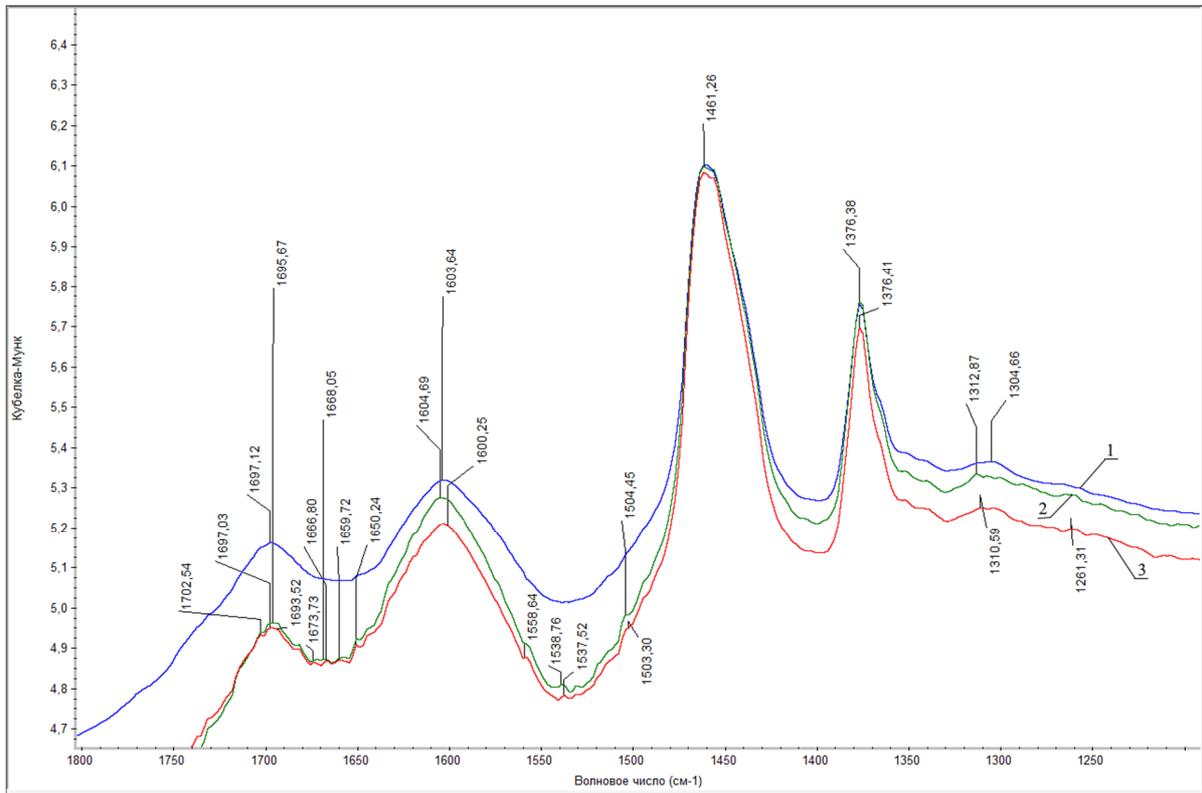
При расшифровке полученных ИК-спектров на рис. 1, установлено, что в области $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$, за исключением пиков, входящих в интервалы от 1700 до 1500 см^{-1} , от 1000 до 500 см^{-1} , присутствуют характерные для битумов интенсивные полосы в области 2852 и 2921 см^{-1} (валентные колебания СН в группах CH_2 , свидетельствующие о значительном количестве предельных углеводородов, битумов, парафинов, масел [13-15]. Анализ приведенных спектров указывает на повышенное содержание в модифицированном битуме высокомолекулярных асфальтенов с некоторым увеличением структурирующих смол.

Поэтому для идентификации ИК спектров битума БНД 90/130, битума БНД 90/130 + «Viator 66» и битума БНД 90/130 + КСД была выбрана область «отпечатков пальцев» $1800-400 \text{ см}^{-1}$, так как основные отличительные особенности расположения пиков поглощения, их относительная интенсивность находятся в данном интервале. Для удобства идентификации полос поглощения эта область была разбита на два интервала от 1800 до 1200 см^{-1} (рис. 2а) и от 1200 до 600 см^{-1}

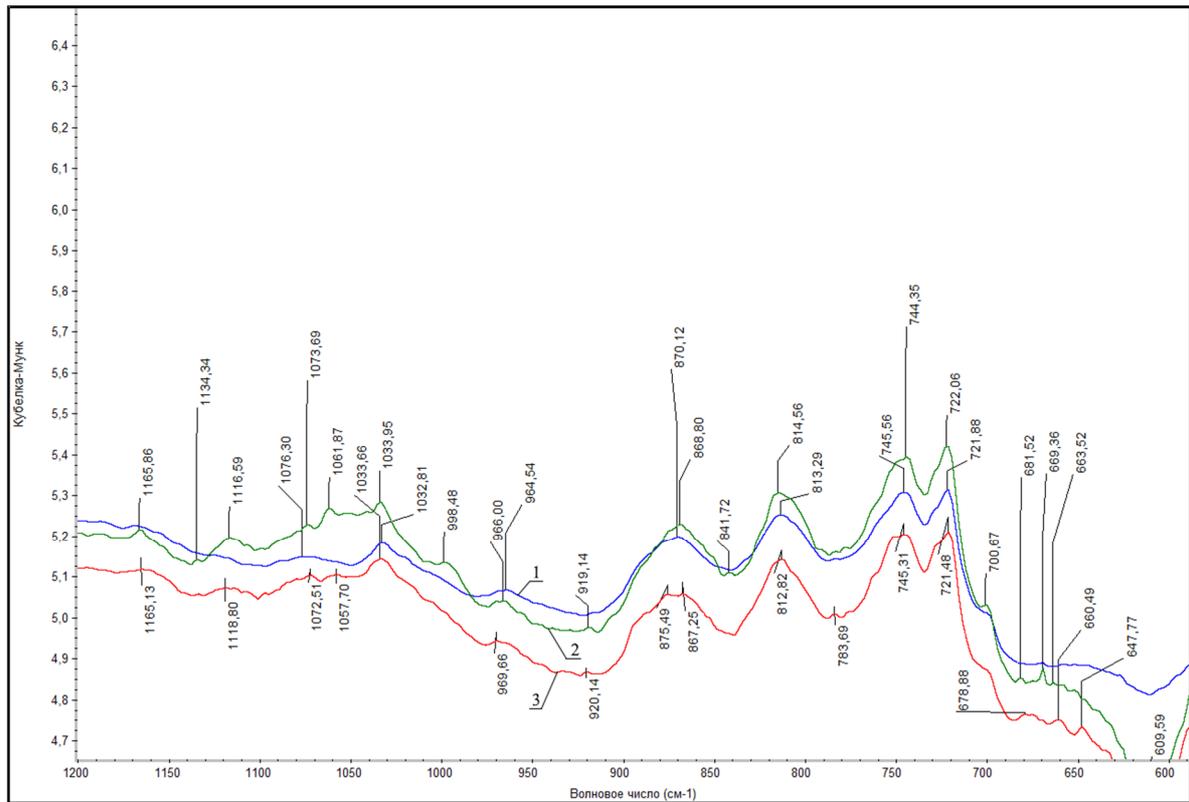
(рис. 2б).

Отличительные признаки ИК-спектров образцов битума БНД 90/130, битума БНД 90/130 + «Viator 66» и битума БНД 90/130 + КСД в области «отпечатков пальцев» приведены в табл. 1.

Анализ полученных данных (рис. 2а) позволил установить, что в области поглощения от 1750 до 1640 см^{-1} имеются отличия по распределению пиков поглощения и их относительной интенсивности во всех образцах. В данной области у образца № 1 имеются полосы поглощения $1697,12 \text{ см}^{-1}$ и $1603,64 \text{ см}^{-1}$, $1304,66 \text{ см}^{-1}$. У образца № 2 отмечаются полосы поглощения $1695,67 \text{ см}^{-1}$ и $1668,05 \text{ см}^{-1}$, $1312,87 \text{ см}^{-1}$ с некоторым смещением от образца № 1, а также дополнительные полосы поглощения $1538,76 \text{ см}^{-1}$ и $1504,45 \text{ см}^{-1}$ характерные для «Viator 66». У образца № 3 имеются полосы поглощения $1697,03 \text{ см}^{-1}$, $1600,25 \text{ см}^{-1}$, $1310,59 \text{ см}^{-1}$ с некоторым смещением от образца № 1, а также дополнительные полосы поглощения, характерные для КСД $1702,54 \text{ см}^{-1}$, $1673,73 \text{ см}^{-1}$, $1659,72 \text{ см}^{-1}$, $1650,24 \text{ см}^{-1}$, $1558,64 \text{ см}^{-1}$, $1537,52 \text{ см}^{-1}$, $1503,3 \text{ см}^{-1}$, $1261,31 \text{ см}^{-1}$.



а



б

Рис. 2. ИК спектры: №1 Битум БНД 90/130; №2 Битум БНД 90/130 + «Viator 66»; №3 Битум БНД 90/130 + КСД.
а) области поглощения спектров 1800 – 1200 см⁻¹, б) области поглощения спектров 1200 – 600 см⁻¹

Таблица 1

Отличительные признаки ИК-спектров полос поглощения образцов № 1-3

№ п/п	Полосы поглощения	Структурные фрагменты	Волновые числа, см ⁻¹
1	Для кетонов	α, β непредельные C=C-CO	1695–1660
		арилалкилкетоны Ar-CO-Alk	1700–1680
		диарилкетоны Ar-CO-Ar	1170–1660
		β -Дикетоны Енольная форма -CO-C=C-OH	1640–1535
2	Для карбоновых кислот	Кислоты с Н-связями	1680–1650
		Карбоксилатанионы	1650–1550
3	Для сложных эфиров	-COH=CHCOOR	1655–1635
4	Для альдегидов	α, β, γ - непредельные C=C-C=O	1705–1685
		Сопряженные полиеновые C=C-C=C	1680–1660
		Ароматические	1715–1695
5	Для ароматических соединений	Монозамещенные	770–730, 710–690
		1,2-замещенные	770–735
		1,4- и 1,2,3,4- замещенные	860–800
		1,2,3 замещенные	800–770, 720–685
6	Для серосодержащих функциональных групп	S=O st	1225–980
		R-SO-R	1060–1015
		R-SO-OH	~1100
		R-SO ₂ -R	1170–1110
		C=S st	1100–1020, 1070–1000
7	Для других колебаний, связанных с группой C-O-H	R-O-H	750–650

В области 1200–600 см⁻¹ присутствуют полосы поглощения, характерные для ароматических соединений, внеплоскостные деформационные колебания C-H в области 1000–650 см⁻¹:

В области 1200–400 см⁻¹ для образца № 1 имеются следующие характерные полосы поглощения: 1032,81 см⁻¹, 964,54 см⁻¹, 870,12 см⁻¹, 814,56 см⁻¹, 744,35 см⁻¹, 722,06 см⁻¹. У образца № 2 имеются полосы поглощения, характерные для битумов в области 1032,81 см⁻¹, 964,54 см⁻¹, 870,12 см⁻¹, 813,29 см⁻¹, 745,56 см⁻¹, 721,88 см⁻¹, а

также дополнительные полосы поглощения, характерные для «Viatop 66» - 1076,30 см⁻¹. У образца № 3 имеются полосы поглощения, характерные для битумов в области 1033,66 см⁻¹, 969,66 см⁻¹, 867,25 см⁻¹, 812,82 см⁻¹, 745,31 см⁻¹, 721,48 см⁻¹, а также имеются дополнительные полосы поглощения: 1165,13 см⁻¹, 1180,80 см⁻¹, 1072,51 см⁻¹, 1057,70 см⁻¹, 920,14 см⁻¹, 875,49 см⁻¹, 783,69 см⁻¹, 678,88 см⁻¹, 660,49 см⁻¹, 647,77 см⁻¹. Для удобства сравнения полос поглощения результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характерные и дополнительные полосы поглощения в образцах № 1-3

№ п/п	Область поглощения, см ⁻¹	Образцы	Характерные полосы поглощения, см ⁻¹	Дополнительные полосы поглощения, см ⁻¹
1	1800–1200	Битум БНД 90/130	1697,12; 1603,64; 1304,66	–
		Битум БНД 90/130 + «Viatop 66»	1695,67; 1668,05; 1312,87	1538,76; 1504,45
		Битум БНД 90/130 + КСД	1697,03; 1600,25; 1310,59	1702,54; 1673,73; 1659,72; 1650,24; 1558,64; 1537,52; 1503,3; 1261,31
2	1200–600	Битум БНД 90/130	1032,81; 964,54; 870,12; 814,56; 744,35; 722,06	–
		Битум БНД 90/130 + «Viatop 66»	1032,81; 964,54; 870,12; 813,29; 745,56; 721,88	1076,30
		Битум БНД 90/130 + КСД	1033,66; 969,66; 867,25; 812,82; 745,31; 721,48	1165,13; 1180,80; 1072,51; 1057,70; 920,14; 875,49; 783,69; 678,88; 660,49; 647,77

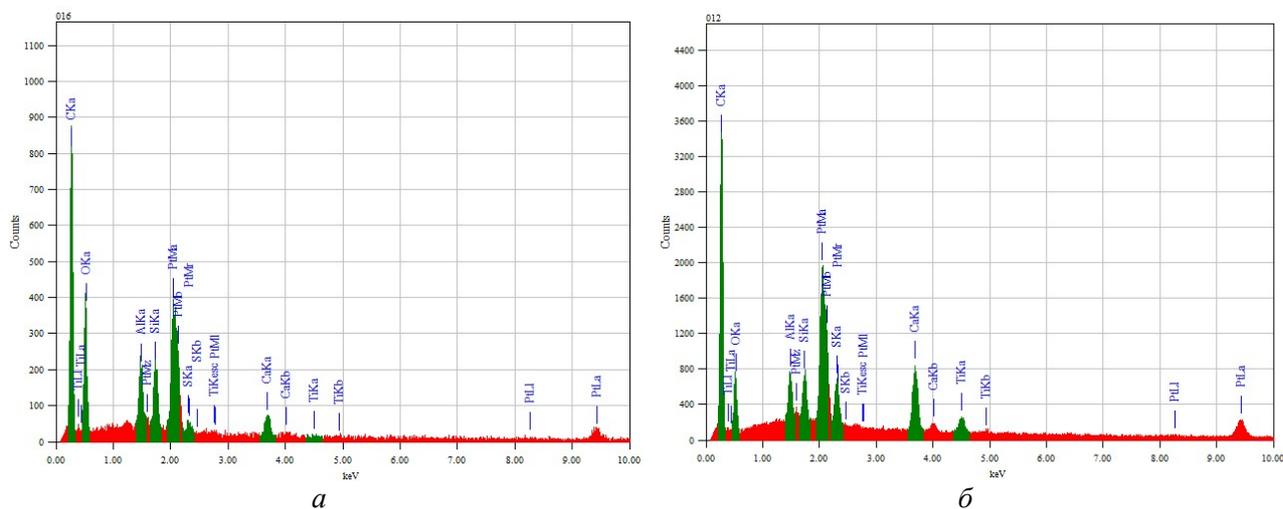


Рис. 3. Рентгеноспектральный анализ. а – волокно СД «Viator 66», б – волокно КСД

Таким образом, в образцах № 2 и № 3 дополнительно, в отличие от образца № 1, появились полосы поглощения характерные для ароматических соединений С=Н группа, серосодержащих функциональных групп S=O st, R-SO-R, R-SO-OH, R-SO₂-R, C=S st а также для групп С-О-Н. Также установлено, что в битуме с КСД происходит большое образование сероорганических соединений (табл. 2). Таким образом, можно предположить, что данное увеличение вызвано наличием в составе КСД резинового порошка, который при взаимодействии с битумом образует химические связи, представленные в табл. 1.

Для подтверждения данной гипотезы были проведены исследования волокон стабилизирующих добавок «Viator 66» и КСД методом рентгеноспектрального анализа. Результаты исследования приведены на рис. 3. Полученные данные, в

результате исследования химического состава «Viator 66» и КСД методом рентгеноспектрального анализа, согласуются с результатами, полученными методом инфракрасной спектроскопии на наличие серосодержащих соединений. Острота пиков на рис. 3а и рис. 3б характеризует наличие химических элементов в составе добавок. Таким образом, установлено, что в КСД по сравнению с «Viator 66» значительно преобладает сера (S).

Для определения влияния и зависимостей стабилизирующих добавок «Viator 66» и КСД на структурно-механические свойства битума до и после кратковременного старения применялись стандартные методы исследования, описанные в ГОСТ 22245-90, 11505-75, 11506-73, 11501-78, 33140-2014. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Структурно-механические свойства битума с добавками до и после кратковременного старения

Вид добавки в битуме	Глубина проникания иглы, мм		Растяжимость, см		Температура размягчения, °С		Температура хрупкости, °С	
	Старение		Старение		Старение		Старение	
	до	после	до	после	до	после	до	после
Битум БНД 90/130	121	118	98	92	45,1	42,1	-25,0	-22,7
Битум БНД 90/130 + 0,4 % КСД	96	93	74	71	46,5	44,8	-27,4	-30,3
Битум БНД 90/130 + 0,4 % Viator 66	91	86	71	67	49,0	47,6	-26,5	-25,7

Установлено, что после кратковременного старения в битуме с КСД расширяется интервал пластичности с 73,3 до 75,1. Полученные данные коррелируются с результатами пенетрации и растяжимости битума, где на 7,5 % выше глубина проникания иглы и на 5,6 % растяжимость, в сравнении с битумом, содержащем добавку «Viator 66». Рациональное сочетание компонентов добавки приводит к образованию сероорга-

нических соединений, набуханию волокон, повышению эластичности системы и устойчивости к старению, обеспечивая повышение прочности асфальтобетона и снижение чувствительности к температурным воздействиям, предотвращая образование микротрещин. Таким образом, можно утверждать, что сочетание целлюлозного волокна и резинового порошка модифицирует битум, увеличивая его реологические свойства.

Изучение физико-механических характеристик щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавками «Viator 66» и КСД выполнялось стандартными методами по ГОСТ 12801-98 и 31015-

2002 путём испытания образцов-цилиндров в возрасте 1 суток. Результаты исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства ЦМА с добавками «Viator 66» и КСД

Наименование показателя	Ед. изм.	Требования ГОСТ 31015-2002	Свойства ЦМА с добавкой	
			Viator 66	КСД
Предел прочности при сжатии при температуре, 0 °С	МПа	-	8,42	7,64
Предел прочности при сжатии при температуре, 20 °С	МПа	не менее 2,2	2,5	2,9
Предел прочности при сжатии при температуре, 50 °С	МПа	не менее 0,65	1,5	1,7
Предел прочности на растяжение при расколе, 0 °С	МПа	не менее 2,5 не более 6,0	3,2	3,3
Водонасыщение	%	от 1,0 до 4,0	1,8	1,6
Стекание органического вяжущего	%	не более 0,2	0,14	0,12
Коэффициент внутреннего трения		не менее 0,93	0,94	0,95
Сцепление при сдвиге		не менее 0,18	0,28	0,31

Установлено, что введение КСД в ЦМА приводит к увеличению физико-механических свойств асфальтобетона по сравнению с «Viator 66»: на 13 % повышается прочность при 20 °С; на 10 % прочность при 50 °С; на 10 % увеличивается сцепление при сдвиге; на 25 % снижается стекание вяжущего. Увеличение прочностных характеристик ЦМА обусловлено наличием резинового порошка в дисперсной среде асфальтобетона, который образует дополнительные эластичные центры, адсорбирующие и удерживающие битум в межзерновом пространстве ЦМА.

Выводы. При введении КСД в битум образуется полосы поглощения различной интенсивности (1165,13 см⁻¹; 1180,80 см⁻¹; 1072,51 см⁻¹; 1057,70 см⁻¹; 920,14 см⁻¹; 875,49 см⁻¹; 783,69 см⁻¹; 678,88 см⁻¹; 660,49 см⁻¹; 647,77 см⁻¹), характерные для данной добавки. Наличие такого количества полос обусловлено присутствием в составе КСД резинового порошка, который при взаимодействии с битумом образует ароматические и сероорганические соединения за счёт частичного растворения частиц резинового порошка в битуме.

Рентгеноспектральный микроанализ подтверждает данные ИК-Фурье спектроскопии на предмет наличия сероорганических соединений в битуме с добавкой КСД.

Введение стабилизирующих добавок в битум приводит к образованию дополнительных химических связей, что улучшает качество битума и щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Установлено, что при введении КСД в битум происходят изменения структурно-механических свойств битума: вязкость повышается на 21,2 %, температура размягчения повышается на 6 %, температуры хрупкости снижении на 10 %, расширяется интервал пластичности вяжущего на 13,7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий // Нижний Новгород: НГАСУ. 2009. 67 с.
2. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство "Элит"». 2009. 176 с.
3. Мухаметханов А.М., Нугманов О.К., Гаврилов В.И. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 6. С. 204–210.
4. Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Пахомов И.А. Изучение влияния вида и типа стабилизирующих добавок в ЦМА смесях // Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ. Т.1. Тюмень: РИО ТюмГАСУ. 2015 г. С. 213–218.
5. Ястремский Д.А., Чепур П.В., Абайдуллина Т.Н. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния дорожного покрытия из ЦМА с применением стабилизирующей добавки «Армидон» // Фундаментальные исследования. 2016. № 7-2. С. 277–281.
6. Superpave Mixes. Asphalt concrete Institute of Superpave series No. 2 (SP-2), printing house. 1996. 117 p.
7. Herren K.H., Erhard H., Hoggenmuller F., Kast O. Splittmastixasphalt // LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV). 27 p.
8. Emery J., Woodman C., Burlie R. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada. 1997.
9. NAPA (National Asphalt Pavement Association) Designing and Constructing SMA Mixtures -

State of the Practice. QIP 122. 1999.

10. Louay N. Mahammad., Zheng Z. Tan., Baoshan Huang. Fundamental Properties of SMA and CMHB Mixes // Proceedings BCRA'98, Norway. 1998.

11. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Шукин А.О., Федулина Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА. 2007. 54 с.

12. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений: учебное пособие // Горно-Алтайск: РИО ГАГУ. 2009. 95 с.

13. Абдрафикова И.М., Каюкова Г.П., Вандюкова И.И. Исследование состава асфальтенов

и продуктов их фракционирования методом ИК Фурье спектроскопии // Вестник Казанского технологического института. 2011. №49. С. 179–183.

14. Гладких, В.А. Сeroасфальтобетон, модифицированный комплексной добавкой на основе серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов: дис... канд. техн. наук. М., 2016. 220 с.

15. Аюпов Д.А., Потапова Л.И., Мурафа А.В., Фахрутдинова В.Х., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами // Известия КазГАСУ. Казань. 2011. № 1 (15). С. 140–145.

Информация об авторах

Ястремский Дмитрий Андреевич, специалист кафедры строительные материалы. E-mail: yaster.dmitry@yandex.ru. Тюменский индустриальный университет. Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Поступила 12.03.2020 г.

© Ястремский Д.А., 2020

Yastremskiy D.A.

Tyumenskiy Industrialnyy Universitet

E-mail: yaster.dmitry@yandex.ru

RESEARCH OF BITUMINOUS BINDER WITH STABILIZING ADDITIVES BY INFRARED SPECTROSCOPY AND X-RAY SPECTRAL ANALYSIS

Abstract. Increasing the volume of crushed stone-mastic asphalt concrete used in the upper layers of road surfaces requires the development of effective stabilizing additives that ensure the uniformity of the asphalt mixture during short-term storage and transportation, as well as improving the properties of asphalt concrete. This additives include a complex stabilizing additive of the following composition: 90 % cellulose fibers from waste paper, 5 % rubber powder, 5 % viscous petroleum bitumen of the BND 90/130 brand. This article presents the results of a study of bitumen with the addition of "Viatop 66" and a complex cellulose-containing stabilizing additive (CSD). Using Fourier-transform spectroscopy, graphical data are obtained. as a result of their analysis, it is found that the interaction of stabilizing additives for crushed-mastic asphalt concrete with bitumen leads to the appearance of additional absorption bands characteristic of aromatic compounds (CH, benzene ring), sulfur-containing functional groups S=O st, R-SO-R, R-SO-OH, R-SO₂-R, C=S st, as well as for C-O-H groups. X-ray spectral analysis confirmed the presence of additional sulfur-containing spectra in the composition of stabilizing additives. It is found that depending on the chemical composition of the stabilizing additives, the physical and mechanical characteristics of the bituminous binder and the resulting asphalt concrete change.

Keywords: asphalt concrete, crushed stone-mastic asphalt concrete, stabilizing additive, infrared spectroscopy, bitumen.

REFERENCES

1. Kostin V.I. Highways and aerodromes and listeners of system of additional professional education [Shchebenochno-mastichnyj asfal'tobeton dlya dorozhnyh pokrytij]. N. Novgorod: NNGASU. 2009, 65 p. (rus)

2. Kiryukhin G.N., Smirnov E.A. Coatings from crushed stone and mastic asphalt concrete [Pokrytiya iz shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona]. Elite Publishing house.

2009, 176 p. (rus)

3. Mukhametkhanov A.M., Nugmanov O.K., Gavrilov V.I. A method of obtaining a stabilizing additive for crushed stone and mastic asphalt mix [Sposob polucheniya stabiliziruyushchej dobavki dlya shchebenochno-mastichnoj asfal'tobetonnoj smesi]. Bulletin of Kazan Technological University. 2010. No. 6. Pp. 204–210. (rus)

4. Yastremsky D.A., Abaydullina T.N., Pakhomov I.A. Studying the influence of the type

and type of stabilizing additives in alkaline mixtures of mixtures [Izuchenie vliyaniya vida i tipa stabiliziruyushchih dobavok v SHCHMA smesyah] Collection of materials of the XV scientific-practical conference of young scientists, postgraduates, applicants and undergraduates TumGASU. 2015. Pp. 213–218. (rus)

5. Yastremsky D.A., Chepur P.V., Abaidullina T.N. Numerical modeling of the stress-strain state of the pavement made of alkali metal oxide using the stabilizing additive Armidon [Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dorozhnogo pokrytiya iz SHCHMA s primeneniem stabiliziruyushchej dobavki «Armidon»]. Fundamental research. 2016. No. 7–2. Pp. 277–281. (rus)

6. Superpave Mix Design. Asphalt Institute Superpave Series. No. 2 (SP-2), Printing. 1996. 117 p.

7. Herren K.H., Erhard H., Hoggenmuller F., Kast O. Splittmastixasphalt. LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV). 27 p.

8. Emery J., Woodman C., Burlie R. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada. 1997.

9. NAPA (National Asphalt Pavement Association) Designing and Constructing SMA Mixtures - State of the Practice. QIP 122. 1999.

10. Louay N. Mahammad., Zheng Z. Tan., Baoshan Huang. Fundamental Properties of SMA and CMHB Mixes. Proceedings BCRA'98, Norway.

1998.

11. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Schukin A.O., Fedulina T.G. Infrared Spectroscopy of Organic and Natural Compounds [Infrakrasnaya spektroskopiya organicheskikh i prirodnyh soedinenij]. SPb.: SPbGLTA. 2007. 54 p. (rus)

12. Anisimova N.A. Identification of organic compounds: a training manual [Identifikaciya organicheskikh soedinenij]. Gorno-Altaysk: RIO GAGU. 2009. 95 p. (rus)

13. Abdrafikova I.M., Kayukova G.P., Vandyukova I.I. Investigation of the composition of asphaltenes and products of their fractionation by IR Fourier spectroscopy [Issledovanie sostava asfal'tenov i produktov ih frakcionirovaniya metodom IK Fur'e spektroskopii]. Bulletin of the Kazan technological Institute. 2011. No. 49. Pp. 179–183. (rus)

14. Gladkikh V.A. Seroasfaltobeton modified with a complex additive based on sulfur and neutralizers of toxic gas emissions [Seroasfal'tobeton, modifitsirovannyj kompleksnoj dobavkoj na osnove sery i nejtralizatorov emissii toksichnyh gazov]. dis ... kand. doctor of technical Sciences. Moscow. 2016. 220 p. (rus)

15. Ayupova D.A. Potapova L.I. Muraf A.V., Fakhrutdinova V.Kh., Khakimullin Yu.N., Host G. Study species interactions of bitumen with polymers [Issledovanie osobennostej vzaimodejstviya bitumov s polimerami]. Proceedings of the University. Kazan. 2011. No. 1 (15). Pp. 140–145. (rus)

Information about the authors

Yastremsky, Dmitry A. Specialist of the building materials department. E-mail: yaster.dmitry@yandex.ru. Tyumen Industrial University. Russia, 625000, Tyumen, ul. Volodarsky, 38.

Received 12.03.2020

Для цитирования:

Ястремский Д.А. Исследование битумного вяжущего со стабилизирующими добавками методами инфракрасной спектроскопии и рентгеноспектрального анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-24-31

For citation:

Yastremskiy D.A. Research of bituminous binder with stabilizing additives by infrared spectroscopy and x-ray spectral analysis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-24-31