УДК 691.16: 666.964.3
Мухаметханов А.М. – соискатель, инженер
E-mail: goidr@rambler.ru
Нугманов О.К. – кандидат химических наук
Лебедев Н.А. – кандидат технических наук, генеральный директор
ОАО «НИИнефтепромхим»
Адрес организации: 420061, Россия, г. Казань, ул. Н. Ершова, 29

Исследование технических свойств дорожного битума в композиции с целлюлозосодержащими стабилизирующими добавками

Аннотация

Рассмотрены проблемы повышения эксплуатационных качеств дорожного битума путем его модификации тонкодисперсными наполнителями. На примере тринидадского асфальта показана эффективность применения комплексных органических вяжущих. Исследованы технические свойства комплексных органических вяжущих, представляющих собой битум в композиции со стабилизаторами на основе натуральных целлюлозных волокон, в том числе известным стабилизатором Viatop-66 (Германия). Определено влияние стабилизатора, компонентов его состава и содержания его в битуме на эксплуатационные качества вяжущего. Проведенные исследования свидетельствуют об эффективности применения стабилизаторов на основе целлюлозных волокон, прошедших глубокую делигнификацию в композиции с госсиполовой смолой. Дана оценка и рекомендации по их применению в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях.

Ключевые слова: дорожный битум, комплексное органическое вяжущее, технические свойства, стабилизирующая добавка, целлюлозные волокна, щебеночно-мастичный асфальтобетон.

Введение

Одним из направлений решения проблемы трещиностойкости дорожных покрытий является повышение эксплуатационных характеристик дорожных вяжущих. Это достигается:

- введением в состав армирующих волокнистых добавок [1];
- применением полимербитумных или резинобитумных вяжущих [2, 3].

При изготовлении материалов на основе битумных вяжущих в их состав могут вводиться волокна растительного происхождения (целлюлоза) [4, 5, 6], а также минеральные волокна – стекловолокно, базальтовое волокно, асбоволокно и др.

По предложенной в [7] классификации, к композиционным относятся вяжущие, состоящие из двух или более компонентов, включая различные модифицирующие, структурирующие и стабилизирующие добавки (например, тонкодисперсные порошки и волокнистые наполнители) и пластификаторы. Примером зависимости технических свойств вяжущего от содержания в его составе тонкодисперсного наполнителя является тринидадский асфальт, компоненты которого выполняют структурирующую роль, что придает ему высокую стабильность и адгезионную способность. Тринидадский асфальт имеет температуру размягчения 93-99 °С, показатель глубины проникновения иглы от 0 до 40 дмм. Комплексные органические вяжущие (КОВ), получаемые с использованием тринидадского асфальта, отличаются высокими эксплуатационными качествами.

Перспективным направлением в производстве КОВ является разработка модифицирующих добавок в гранулированном (сыпучем) виде, пригодных для введения в асфальтосмесительную установку в холодном состоянии с последующим перемешиванием с горячими минеральными компонентами. Применение гранулята позволяет существенно удешевить его транспортирование, хранение и производство асфальтобетонных смесей.

Стабилизирующее (структурирующее) действие добавок проявляется в виде их способности гомогенизировать выпускаемые горячие асфальтобетонные смеси, т.е. препятствовать сегрегации и отслоению (стеканию) вяжущего при высоких технологических и эксплуатационных температурах. Свойства применяемых добавок имеют большое значение для обеспечения требуемого содержания вяжущего и повышения качества смеси [8, 9].

Экспериментальная часть

В ОАО «НИИнефтепромхим» были проведены исследования технических свойств КОВ, представляющих собой дорожный битум марки БНД 60/90 в композиции со стабилизирующими добавками на основе целлюлозных волокон [10].

Соотношение битума к стабилизирующей добавке было взято с учетом рекомендаций по проектированию щебеночно-мастичного асфальтобетона марки ЩМА-15, приведенных в ГОСТ 31015-2002, согласно которому потребность в битуме должна составлять ~6-7 % мас., стабилизирующей добавки ~0,2-0,5 % мас. готовой асфальтобетонной смеси. В пересчете этих двух компонентов в составе КОВ, а также с учетом описанного в литературе опыта укладки ЩМА [11, 12, 13], нами было принято следующее соотношение, % мас.:

Битум БНД 60/90	93,5
Стабилизирующая добавка	6,5

В битум, разогретый до температуры 150-160 °С, при перемешивании вводили модифицирующие добавки. Смешение компонентов проводили в аппарате с пропеллерной мешалкой с частотой 800 об/мин в течение 40 мин.

В качестве модификаторов были взяты стабилизирующие добавки, состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав стабилизирующих добавок

Наименование	Описание
дороцелл-1	Беленые целлюлозные волокна льна 90 %, атактический полипропилен 10 % (АПП).
дороцелл-2	Небеленые целлюлозные волокна льна 90 %, АПП 10 %
Viatop-66	Волокна технической целлюлозы 65-70 %, битум – остальное
Стаб-1	целлюлозные волокна льна 90 %, госсиполовая смола10 %
Стаб-2	целлюлозные волокна рапса 90 %, госсиполовая смола10 %
Стаб-3	целлюлозные волокна рапса

Свойства стабилизирующих добавок удовлетворяют требованиям ГОСТ 31015-2002 и соответствуют следующим физико-механическим требованиям:

Влажность, % по массе, не более	8,0
Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, %, не более	7,0
Содержание волокон длиной от 0,1 мм до 2,0 мм, %, не менее	80

Дополнительно, с целью выявления закономерности изменения технических свойств КОВ в зависимости от содержания стабилизатора, были проведены исследования с использованием целлюлозных волокон рапса в массовых отношениях к битуму 1, 3 и 6,5 %, а также получены результаты испытаний ЩМА-15 с применением дороцелл-1 и дороцелл-2, приведенные в таблице 2.

Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 11501-78 (пенетрация), ГОСТ 11505-75 (дуктильность), ГОСТ 11506-73 (температура размягчения по кольцу и шару), ГОСТ 22245-90 (индекс пенетрации). Результаты испытаний образцов КОВ представлены на рисунках 1, 2, 3.

Обсуждение результатов

Известно, что дуктильность битумов при 25 °С характеризует степень структурированности и пластичности вяжущего [14]. Из диаграммы 1 видно, что введение стабилизаторов значительно влияет на структурированность и пластичность КОВ, понижая значения дуктильности с 74,4 до 8,2~9,8 см. Из полученных значений можно сделать вывод о том, что все использованные добавки обладают структурирующим действием.

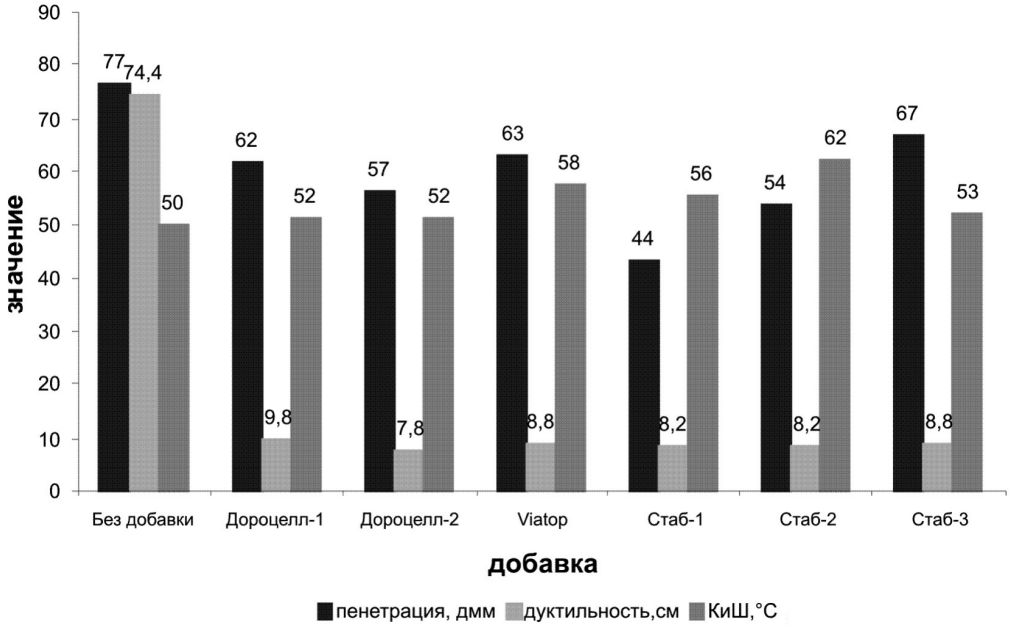

Рис. 1. Диаграмма результатов испытаний КОВ

Таблица 2

Результаты испытаний ЩМА-15 с применением дороцелл-1; -2

Наименование показателей	Стабилизатор		
	ГОСТ 31015-2002	Дороцелл-1	Дороцелл-2
Водонасыщение, % по объему	От 1,0 до 4,0	2,82	3,0
Предел прочности при сжатии, МПа при + 20 ^{0}С, не менее	2,2	2,85	2,8
Предел прочности при сжатии, МПа при + 50 ^{0}С, не менее	0,65	1,25	0,93
Коэффициент внутреннего трения, МПа, не менее	0,93	0,93	0,91
Сцепление при сдвиге при + 50 ^{0}С, МПа, не менее	0,20	0,25	0,18
Трещиностойкость при 0^{0}С не менее не более	 2,5 6,0	5,7	5,5
Стекание вяжущего, %, не более	0,2	0,16	0,38

Из таблицы 2 видно, что при использовании в ЩМА-15 добавки дороцелл-1 показатель стекания вяжущего в 2,4 раза ниже в сравнении с дороцелл-2, притом, что дуктильность вяжущего с применением дороцелл-1 выше на 20 % (см. рис. 1). Это связано с тем, что для получения целлюлозных волокон, примененных в добавке дороцелл-1, растительное сырье подверглось более глубокой делигнификации, в результате чего изменился характер поверхности волокон и, как следствие, повысились структурирующая способность стабилизатора и пластичность КОВ. Из диаграммы 1 видно, что при равной температуре размягчения (52°С) показатель пенетрации вяжущего с применением Дороцелл 1 на 8 % выше в сравнении с Дороцелл-2. Из вышесказанного

следует, что вяжущие с применением Дороцелл-1 обладают более высокими техническими характеристиками в сравнении с дороцелл-2. Это подтверждают результаты физико-механических испытаний асфальтобетонной смеси марки ЩМА-15 с применением дороцелл-1: предел прочности при сжатии при +50 °С выше на 26 %, сцепление при сдвиге выше на 28 %, стекания вяжущего ниже 2,4 раза.

Из диаграммы 1 видно, что вяжущие с применением Стаб-1 и Стаб-2 имеют самые низкие показатели пенетрации (44 и 54 дмм) и самые высокие показатели размягчения по КиШ (56 и 62 °С) среди исследуемых образцов КОВ. Можно сделать вывод, что присутствие госсиполовой смолы в составе стабилизаторов повышает твердость вяжущего, при этом стабилизатор существенно повышает температуру размягчения по КиШ с 50 °С для исходного битума до 56 и 62 °С у КОВ со Стаб-1 и Стаб-2 соответственно.

Оценивая результаты испытаний технических свойств КОВ со стабилизаторами Стаб-2 и Стаб-3 можно отметить, что показатель пенетрации вяжущего с Стаб-2 ниже на 19 %, а температура размягчения по КиШ выше на 15 %. Это свидетельствует об улучшении теплостойкости вяжущего с применением стабилизатора в композиции с госсиполовой смолой, а также о вероятном повышении твердости битумных пленок на поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси.

Показатели пенетрации и КиШ образца вяжущего с применением стабилизатора Viatop-66 (Германия) одни из самых высоких, 63 дмм и 58 °С соответственно. Это в определенной степени указывает на хорошую деформативную устойчивость асфальтобетона при высоких температурах при применении указанной добавки.

Диаграмма значений индексов пенетрации образцов КОВ представлена на рисунке 2.

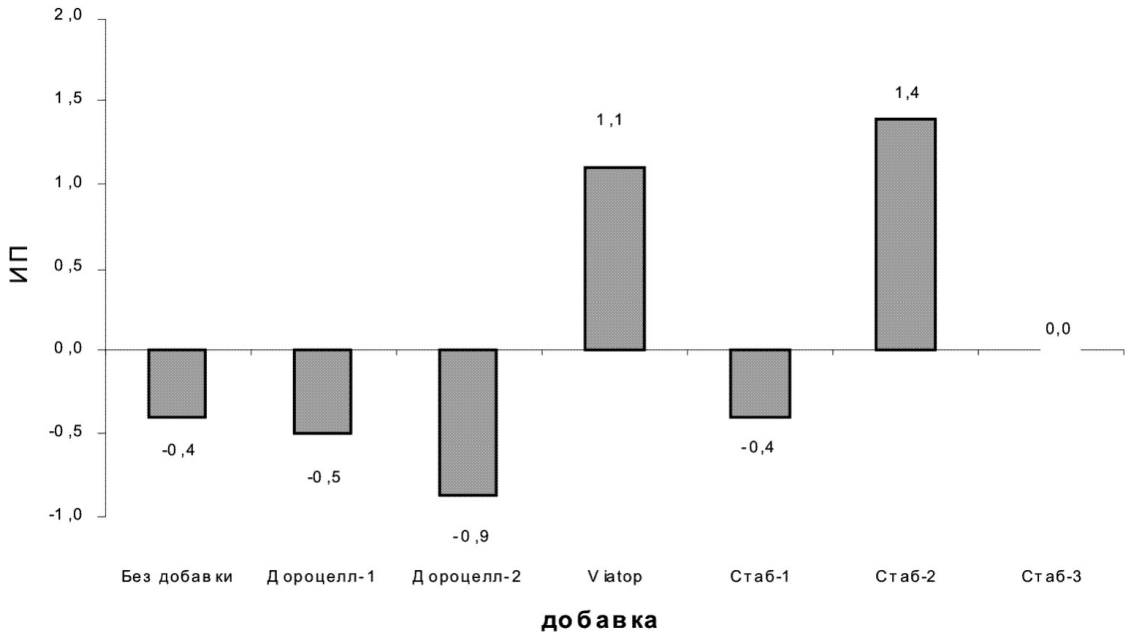

Рис. 2. Диаграмма индексов пенетрации

Из приведенной на рисунке 2 диаграммы видно, что стабилизаторы Viatop-66 и добавка Стаб-2 существенно изменяют индекс пенетрации битума, повышая его от -0,4 до +1,1 и +1,4 соответственно, что свидетельствует о расширении интервала пластичности. Индекс пенетрации вяжущего при использовании Дороцелл-2 наоборот понизился до 0,9, что косвенно указывает на понижение пластичности вяжущего, и, как следствие, это может неблагоприятно сказаться на циклической усталости асфальтобетона при умеренных и низких температурах.

С целью выявления динамики изменения технических свойств КОВ были исследованы образцы вяжущего в композиции со стабилизатором на основе волокон рапса в массовом отношении 1, 3 и 6,5 % мас.

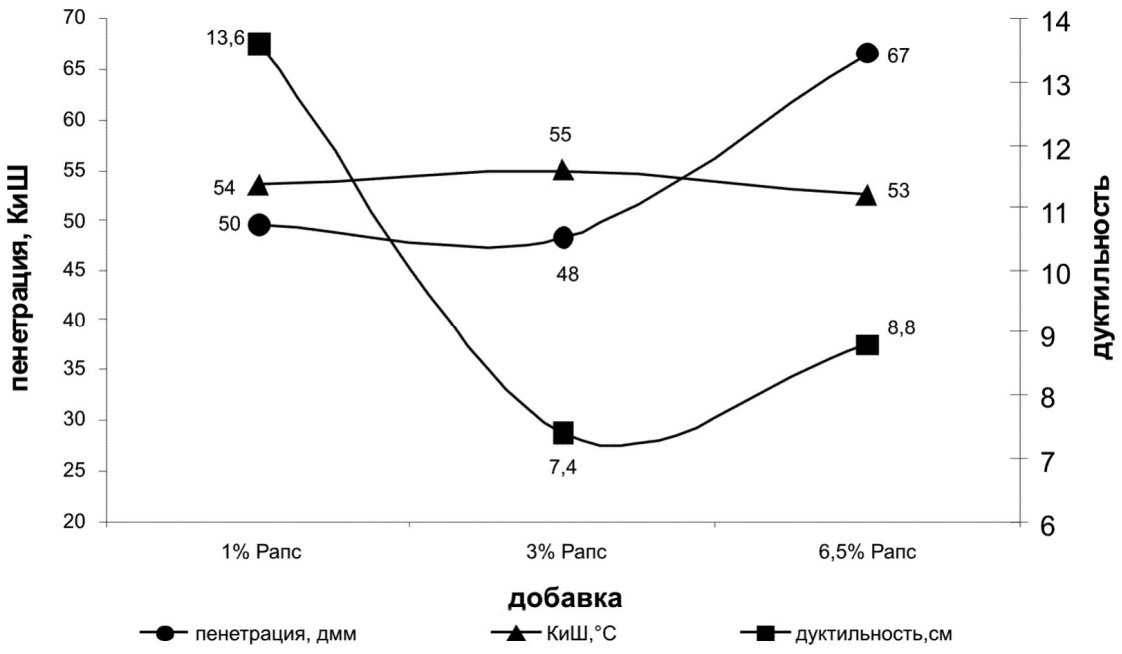

Рис. 3. Влияние содержания стабилизатора на технические свойства вяжущего

На рисунке 3 представлена диаграмма изменения свойств КОВ в зависимости содержания стабилизатора на основе целлюлозных волокон, выделенных из рапса. Видно, что повышение содержания стабилизатора с 1 до 6,5 % не оказывает значительного влияния на температуру размягчения, но существенно сказывается на пенетрации и дуктильности. Показатель пенетрации возрастает с 50 и 48 до 67 дмм при повышении содержания стабилизатора с 1 и 3 до 6 % соответственно. Дуктильность при этом падает с 13,6 и 7,4 до 8,8 см. Известно, что чем меньше глубина проникания, тем меньше растяжимость и наоборот [15]. Однако, при содержании стабилизатора в количестве 1 % линия дуктильности возрастает значительно круче относительно линии пенетрации. Эксперимент показал, что при увеличении содержания стабилизатора с 1 до 6,5 % мас. показатели пенетрации и дуктильности сначала возрастают, а затем понижаются, вместо ожидаемого понижения этих показателей при увеличении содержания стабилизатора. Из чего следует, что содержание в вяжущем стабилизатора на основе целлюлозных волокон рапса в количестве 4,5~6,5 % мас. является оптимальным и может быть рекомендовано для получения композиционных вяжущих для дорожного строительства, обладающих умеренной твердостью, структурированностью и высокой температурой размягчения.

Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору, члену-корреспонденту АН РТ Хуснутдинову И.Ш. за оказанное содействие в проведении исследовательской работы.

Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**.

Добавки на основе целлюлозных волокон в равной степени изменяют пластичность исходного битума БНД 60/90 по показателю дуктильности. Это свидетельствует о структурирующей способности исследованных стабилизаторов.

Технические свойства вяжущих в композиции со стабилизаторами на основе волокон целлюлозы (в частности льна и АПП) тем выше, чем глубже был проведен процесс делигнификации при производстве целлюлозных волокон.

Присутствие госсиполовой смолы в составе стабилизаторов повышает твердость КОВ, при этом увеличивается температура размягчения по КиШ на 6-12 °С. Стабилизатор на основе целлюлозных волокон рапса, пропитанных 10 % мас. госсиполовой смолы, также повышает индекс пенетрации вяжущего с -0,4 до +1,4, что свидетельствует об улучшении эксплуатационных качеств.

Динамика изменения технических свойств КОВ в зависимости от содержания стабилизатора на основе целлюлозных волокон рапса свидетельствует о том, что оптимальным содержанием стабилизатора является 4,5~6,5 % мас., или в пересчете на массу асфальтобетонной смеси 0,3~0,45 %. При этом вяжущее приобретает умеренную твердость, структурированность и высокую температуру размягчения.

Исходя из выводов, стабилизатор на основе целлюлозных волокон рапса в композиции с госсиполовой смолой может быть рекомендован к применению в асфальтобетонных смесях. Наличие в составе стабилизатора госсиполовой смолы не только улучшает технические свойства вяжущего, но и придает стабилизатору гидрофобность, а также повышает адгезию вяжущего к минеральным материалам основного характера, наиболее распространенным в средней полосе России, к тому же не уступая по техническим свойствам более дорогостоящему стабилизатору Viatop.

Список литературы

1. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтововяжущем // Известия ОрелГТУ. Сер. «Строительные технологии и материалы». – Орел: ОрелГТУ, 2010, № 4 (30). – С. 53-58.
2. Илиополов С.К., Мардиросова И.В. Эффективный модификатор-стабилизатор для щебеночно-мастичных смесей // Автомобильные дороги, 2006, № 7. – С. 19-22.
3. Руденский А.В., Никонова О.Н. Резинобитумные вяжущие. Различные варианты технологии приготовления // Дороги и мосты: Сб. науч. трудов / ФГУП «РОСДОРНИИ». – М., 2008. Вып. 19/1. – С. 215-223.
4. Яруллин Р.Н., Архипов А.И., Матухин Е.Л. [и др.] Диверсификационная технология производства льняной целлюлозы // Вестник КГТУ: спец. выпуск, 2008. – С. 133-136.
5. Матухин Е.Л. Радиационная деструкция целлюлозы различной структурной модификации // материалы VII всероссийской конф. «Структура и динамика молекулярных систем»: Сб. научных трудов. – Йошкар-Ола, 2000. – С. 130-131.
6. Нугманов О.К., Лебедев Н.А. Целлюлоза. Начало нашей эры // Химический журнал, 2009, № 12. – С. 30-33.
7. Руденский А.В. Битумные вяжущие улучшенного качества, модифицированные, комплексные, композиционные // ДОРОГИ И МОСТЫ: Сб. науч. трудов / ФГУП «РОСДОРНИИ». – М., 2007. Вып. № 2. – С. 208-214.
8. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий: учебное пособие по курсу «Новые технологии в дорожном строительстве». – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 65 с.
9. Илиополов С.К., Мардиросова И.В. Влияние модификатора РТЭП и добавки «Viatop-66» на свойства ЩМА // Наука и техника в дорожной отрасли, 2010, № 2. – С. 38-40.
10. Броницкий Е.И., Гуменюк Ю.А., Комиков А.В. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва // Новости в дор. деле: Науч.-техн. информ. сб. – М., 2003. – С. 22-32.
11. Мухаметханов А.М., Нугманов О.К. Стабилизирующая армирующая добавка на основе травяной целлюлозы для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Известия КазГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 255-260.
12. Эфа А.К. [и др.] Щебеночно-мастичный асфальтобетон. Теоретические основы, практика применения // Строительные материалы, 2003, № 1. – С. 22-23.
13. Смирнов Е.А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон // Автомобильные дороги, 2001, № 11. – С. 56-57.
14. Гуреев А.А. [и др.] Производство нефтяных битумов: уч. пособие. – М.: Нефть и газ, 2007. – 102 с.
15. Дорожный асфальтобетон: учебник / Под общ. ред. Л.Б. Гезенцвея. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

Mukhametkhanov A.M. – researcher, engineer
E-mail: goidr@rambler.ru
Nugmanov O.K. – candidate of chemical sciences
Lebedev N.A. – candidate of technical sciences, director general
Joint Stock Company «NIInefteprom chim»
The organization address: 420061, Russia, Kazan, N. Yershov str., 29

Investigation of technical characteristics of paving bitumen combined with cellulose-containing stabilizing additives

Resume

The problems of the paving bitumen performance improvement by its modification with finely dispersed fillers are considered. The efficiency of the composite organic bindings' application is shown in terms of bitusol (Trinidad asphalt).

The stabilizing effect of the additives is shown by their ability to homogenize the hot asphalt concrete mixtures, i.e. to prevent segregation and stripping of the binding at high technological and working temperature. The additives' properties are important for ensuring the required binding content and improving the quality of the mixture.

We studied the technical characteristics of the composite organic bindings comprising the bitumen combined with the stabilizers based on the natural cellulose fibers including the well-known stabilizer Viatop-66 (Germany). The effect of the stabilizer and its components, as well as of the stabilizer content in bitumen on the binding performance is determined.

The investigation shows the efficiency of using the stabilizers based on the cellulose fibers exposed to thorough delignification. The cellulose fibers in combination with gossypol resin most favourably affect the technical properties of the bitumen when the dosage is 4,5-6,5 % by the weight of the composition.

Their estimation and the recommendations for their use in broken-stone/mastic asphalt concrete mixtures are given.

Keywords: paving bitumen, composite organic binding, technical characteristics, stabilizing additive, cellulose fibers, broken stone/mastic asphalt concrete.

References

1. Solomentsev A.B., Baranov I.A. Appraisal of bitumen capacity of stabilizing additives for stone-mastic asphalt, Scientific Herald of the Orel State technical University. Building technology and materials, 2010, № 4 (30). – P. 53-58.
2. Iliopolov S.K., Mardirosova I.V. Effective modifier- stabilizer for stone-mastic blend. Motor roads, 2006, № 7. – P. 19-22.
3. Rudenskij A.V., Nikonova O.N. Rubber-bituminous bindings. Various technology of preparation. Roads and bridges, 2008, № 19/1. – P. 215-223.
4. Jarullin R.N., Arhipov A.I., Matuhin E.L. [and others] Diversification technology of linen cellulose production // Scientific Herald of the Kazan State Technological University. special issue, 2008. – P. 133-136.
5. Matuhin E.L. Radiation degradation of different structured modification of celluloses // The collection of proceedings materials of VII All-Russian scientific conference «Structure and dynamics of the molecular systems». – Ioshkar-Ola, 2000. – P. 130-131.
6. Nugmanov O.K., Lebedev N.A. Cellulose. Beginning of our era // Chemical journal, 2009, № 12. – P. 30-33.
7. Rudenskij A.V. Bituminous bindings. Improved quality, modified, combined, composition. Roads and bridges, 2007, № 2. – P. 208-214.
8. Kostin V.I. Stone-mastic asphalt for road pavement. – N. Novgorod, 2009. – 65 p.
9. Ilipolov S.K., Mardirosova I.V. Influence modifier RTEP and «Viatop-66» addition on behaviour of SMA. Science and technology in road branch, 2010, № 2. – P. 38-40.

10. Mukhamethanov A.M., Nugmanov O.K. Stabilizing reinforcement additive made of herbaceous plants cellulose for stone mastic asphalt. Scientific Herald of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2010, № 2 (14). – P. 255-260.
11. Bronickij E.I., Gumenjuk Ju.A., Komikov A.V. The use of stone-mastic blend at overhaul of the Moscow roads, Art of building roads, 2003. – P. 22-32.
12. Efa A.K. Stone-mastic asphalt. Theory and practice use. Building materials, 2003, № 1. – P. 22-23.
13. Smirnov E.A. Stone-mastic asphalt, Motor roads, 2011, № 11. – P. 56-57.
14. Gureev A.A., Chernysheva E.A., Konovalov A.A., Kozhevnikova Ju.V. Bitumen processing, oil and gas, 2007. – 102 p.
15. Gezencvej L.B. Asphalt concrete. – Moscow., 1985. – 350 p.