



Оценка влияния различных стабилизирующих добавок, в том числе гидролизного лигнина, на основные физические и эксплуатационные показатели щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей

В.Б. Балабанов¹, В.С. Молоков²✉

^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается применение различных стабилизирующих добавок, в том числе гидролизного лигнина, для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. При проведении лабораторных испытаний использовались прошедшие поверку средства измерений и аттестованное лабораторное оборудование, а также применены официально признанные методы исследования физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей. В результате исследований получены данные и проведен сравнительный анализ влияния стабилизирующих добавок на основные физические и эксплуатационные показатели щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Путем сравнительного анализа установлено, что использование различных стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях не приводит к значительным изменениям основных физических и эксплуатационных показателей, за исключением показателя стекания вяжущего, т.е. способности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей удерживать битум. В результате лабораторных исследований также подтверждена возможность использовать стабилизирующую добавку – гидролизный лигнин – без ухудшения физических и эксплуатационных свойств смеси по ГОСТ Р 58406.1-2020. Отмечено незначительное повышение водостойкости в случае применения гидролизного лигнина, связанное с его способностью модифицировать дорожный битум и высоким содержанием в смеси относительно других добавок.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, автомобильные дороги, стабилизирующая добавка, гидролизный лигнин, отходы деревообработки

Для цитирования: Балабанов В.Б., Молоков В.С. Оценка влияния различных стабилизирующих добавок, в том числе гидролизного лигнина, на основные физические и эксплуатационные показатели щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 202–212. <https://elibrary.ru/nrzbhy>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-202-212>.

Original article

Evaluation of the impact of various stabilizing additives, including hydrolysis lignin, on the basic physical and operational parameters of rubble-mastic asphalt concrete mixtures

Vadim B. Balabanov¹, Vladimir S. Molokov²✉

^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper considers the use of various stabilizing additives, including hydrolysis lignin, in rubble-mastic asphalt mixtures. Laboratory tests were conducted using calibrated measuring instruments and certified laboratory equipment, along with officially recognized methods for testing the physical and mechanical properties of asphalt mixtures. Based on the data obtained, a comparative analysis of the effect of stabilizing additives on the main physical and operational indicators of rubble-mastic asphalt concrete mixtures was carried out. It was established that the use of different stabilizing

additives in rubble-mastic asphalt concrete mixtures did not lead to significant changes in the basic physical and operational indicators, except for the binder flowing indicator, i.e., the ability of rubble-mastic asphalt concrete mixtures to retain bitumen. The laboratory studies also confirmed the possibility of using a stabilizing additive – hydrolysis lignin – without compromising the physical and operational characteristics of the mixture according to GOST R 58406.1-2020. A slight increase in water resistance was observed when hydrolysis lignin was added, largely due to its ability to modify road bitumen and its high content in the mixture compared to other additives.

Keyword: crushed stone-mastic asphalt concrete, crushed stone-mastic asphalt concrete mixture, highways, stabilizing additive, hydrolysis lignin, woodworking waste

For citation: Balabanov V.B., Molokov V.S. Evaluation of the impact of various stabilizing additives, including hydrolysis lignin, on the basic physical and operational parameters of rubble-mastic asphalt concrete mixtures. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):202-212. (In Russ.). <https://elibrary.ru/nrzbhy>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-202-212>.

ВВЕДЕНИЕ

В России на протяжении последних десяти лет все более широкое применение находит щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Основными его преимуществами по сравнению с другими видами асфальтобетонов являются высокая стойкость к колееобразованию и накоплению пластических деформаций, низкая истираемость шинами, повышенная трещиностойкость, а также хорошее сцепление поверхности с колесами автомобилей.

Ускоренный рост объемов применения данного материала в рамках нацпроекта «Безопасные и качественные дороги» отмечается не только на федеральных и региональных, но и на муниципальных дорогах. Так, например, в г. Иркутске покрытия из ЩМА начали устраивать с 2018 года, и за это время такие крупные улицы как Карла Маркса, Сурнова, Полярная, Тракторная были отремонтированы с применением ЩМА.

Присущей ЩМАС отличительной особенностью является повышенное содержание щебня кубовидной формы, высокое процентное содержание битума и минерального порошка. Кроме того, ЩМА имеет в составе стабилизирующую добавку, которая служит для усиления устойчивости ЩМАС к расслаиванию при транспортировке и укладке. В связи с изданием приказа Росстандарта №191-СТ от 15.05.2020 г.¹ о прекращении действия ГОСТ 31015-2002² в части дорог автомобильных общего пользования и переходом отрасли на новые стандарты, в частности

ГОСТ Р 58406.1-2020³, сведения о стабилизирующих добавках не классифицированы, влияние добавок на свойства ЩМАС не изучено. Не накоплены сведения о влиянии стабилизирующих добавок на объемную плотность, на максимальную плотность, на содержание воздушных пустот, на пустоты минерального заполнителя (ПМЗ), на водостойкость, а также на значение средней глубины колеи, требования к которым изложены в ГОСТ Р 58406.1-2020.

Учитывая большую номенклатуру видов стабилизирующих добавок, сравнительная тема их характеристик и особенностей является чрезвычайно актуальной. Стабилизирующие добавки могут отличаться не только по своему составу, но и по форме выпуска, и также по форме спрессованных гранул. В данной статье рассматриваются одни из самых часто применяемых в России добавок, со своими особенностями и свойствами, и выполнен анализ их влияния на свойства ЩМАС. Также, в качестве сравнения рассмотрена альтернативная стабилизирующая добавка из отхода промышленной обработки древесины - гидролизного лигнина. В Российской Федерации накоплены отходы гидролизного лигнина в отвалах, измеряющиеся миллионами тонн. В отвалах возможно их самовозгорание, которое ведет к выделению азотистых и сернистых соединений, а также многих других выделений, являющихся токсичными [1]. Эти токсичные выделения загрязняют почву, подземные воды и поверхностные воды [2]. Дан-

¹Об утверждении национального стандарта Российской Федерации: приказ от 15 мая 2020 г. № 191-ст // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565018093> (15.02.2022).

²ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 2003. 21 с.

³ГОСТ Р 58406.1-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.

ный отход, обладает способностью модифицировать дорожный битум [3–7], поскольку сам считается природным полимером, а также может являться альтернативой традиционно применяемых дорогостоящих стабилизирующих добавок, что позволит утилизировать гидролизный лигнин и снизить стоимость щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Кроме того, известны исследования применения лигнина в качестве минерального порошка [8] и патент на изобретение, предлагающий использовать гидролизный лигнин в качестве заменителя минерального порошка [9].

Цель настоящего исследования – установление у стабилизирующих добавок к ЩМА преимуществ или недостатков относительно друг друга, обоснование необходимости применения той или иной добавки, а также влияние стабилизирующих добавок на физические показатели и эксплуатационные показатели ЩМА. Также, в статье исследована возможность гидролизный лигнин использовать как стабилизирующую добавку для ЩМАС. Для достижения цели поставлена задача изучить воздействие стабилизирующих добавок на физико-химические свойства битума и асфальтового вяжущего, физические показатели ЩМАС, эксплуатационные показатели ЩМАС. Кроме того, целесообразно рассмотреть технологические свойства стабилизирующих добавок при производстве ЩМАС⁴.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Состав ЩМАС представлен зернами щебня, минеральным порошком, песком из отсевов дробления, стабилизирующими добавками, иными добавками, битумным вяжущим. Доля щебня в ЩМАС находится в диапазоне 70–80%. Смесь составляется исходя из необходимых пропорций составляющих. Составляющие смешиваются в нагретом до требуемой температуры состоянии. При этом должна обеспечиваться способность составляющих удерживаться на поверхности щебня без стекания с поверхности при технологических температурах.

В России данный материал четко регламентируется Национальным стандартом РФ ГОСТ Р 58406.1-2020³, устанавливающий требования к смеси, а также к применяемым для ее производства исходным материалам.

ЩМА, структура которого является жесткой, передает в нижние слои нагрузки посред-

ством частиц крупного щебня, находящихся в непосредственном соприкосновении между собой. В результате деформации в поперечном и продольном направлениях слоя ЩМА являются значительно меньшими. В связи с этим ЩМА меньше склонен к образованию колеи [10].

Кроме того, покрытия из ЩМА позволяют значительно снизить уровень шума при движении по ним автомобилей, в сравнении с традиционными типами асфальта. Также, мастичный асфальт имеет повышенную шероховатость своей поверхности, что означает меньшее количество водяной пленки и луж на поверхности, меньшее количество бликов световых приборов автомобилей и лучшую видимость разметки дороги. Асфальтобетонные покрытия из ЩМАС имеют длительный срок службы и стабильные долговременные свойства. Из опыта следует, что асфальтобетон быстрее стареет, когда толщина битумной пленки составляет менее 9 микрон. Кроме того, асфальтобетон, который имеет остаточную пористость 8% и выше, также подвержен ускоренному старению. Щебеночно-мастичный асфальтобетон в таких условиях более устойчив к старению на всех этапах – приготовления, строительства и эксплуатации, что делает его более долговечным⁵. Стабилизирующие добавки являются обязательной составляющей ЩМАС. Наличие указанных добавок в смеси позволяет обеспечить необходимый показатель стекания. За счет данных добавок исключается расслаивание смеси в процессе укладки и транспортирования. Добавки обладают структурирующим, стабилизирующим действием. Проявлением данного действия является создание препятствий для стекания, отслоения и сегрегации битумного вяжущего, гомогенизация горячих асфальтобетонных смесей. Использование добавок-стабилизаторов осуществляется для того, чтобы повысить толщину битумных пленок, а пленки, в свою очередь, создают свободный (объемный) битум и обеспечивают однородность ЩМАС. Исходно при использовании для ЩМАС стабилизирующих добавок преимущественно применялись крошка резины и асбест, обеспечивающие возможность добавления до 7% битума.

Впоследствии в силу различных причин состоялось расширение спектра используемых для стабилизации добавок. Была выяв-

⁴Баранов И.А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона: дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2015. С. 176.

⁵Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий: учеб. пособие. Н. Новгород: ННГАСУ. 2009. 65 с.

лена возможность противодействия расслоению смеси, сдерживания значительного объема битума в смеси за счет производных кремниевой кислоты, термопластов, волокон (полимерных, минеральных, целлюлозных).

В основном стабилизирующей добавкой в ЩМАС является целлюлозное волокно (которое может быть как гранулированным, так и негранулированным)⁵

Требования к физическим свойствам к во-

локнистым стабилизирующим добавкам регламентируются ГОСТ Р 58406.1-2020³. Наличие ленточной структуры нитей – требование, предъявляемое применительно к структуре волокна. В волокне не должны присутствовать посторонние включения, нераздробленные скопления, пучки. Необходимо использовать однородное волокно.

В табл. 1 представлены значения физических свойств волокна.

Таблица 1. Требования к физическим свойствам волокна

Table 1. Requirements for the physical properties of the fiber

Показатель	Значение
Влажность, % по массе, не более	8,0
Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, %, не более	7,0

Согласно ГОСТ Р 58406.1-2020³, не запрещено применять другие добавки, которые способны сорбировать битум при технологических температурах, не давая негативного воздействия на вяжущее и ЩМА смесь.

В современных технологиях производства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей широким распространением характеризуются добавки – стабилизаторы на основе целлюлозы, а также хризотилового и базальтового волокон. Добавка целлюлозы применяется в форме фибриллированного волокна или гранул при наличии содержания короткого волокна, являющегося однородным, длиной 0,5–1,9 мм минимум 50%. Волокна в виде гранул с обработкой модифицирующим составом или в отсутствие подобной обработки представляют собой гранулированные добавки⁵.

Сегодня при производстве ЩМАС осуществляется активное использование стабилизирующих добавок, основа которых – базальтовое, хризолитовое волокно, целлюлоза.

Возможно применение целлюлозы в таких видах, как гранулы или измельченное – фибриллированное – волокно. Волокна, сжатые в гранулы и подвергнутые обработке модифицирующими составами или без них, являются гранулированными добавками. Волокно целлюлозы, являющееся короткофиберным, должно включать минимум 50% фибр длиной 0,5–1,9 мм и характеризоваться однородностью⁵.

При проведении исследования для сравнения были использованы 4 стабилизирую-

щие добавки.

1. «Хризотоп» – запатентованная гранулированная добавка, состоящая из хризотилового волокна (85%) и битума (15%). Выпускается по СТО 72376975-001-2009⁶. Стандарт организации согласован Федеральным дорожным агентством Росавтодор. Добавка «Хризотоп» запатентована, имеет санитарно-эпидемиологическое заключение и сертификат соответствия в области дорожного хозяйства⁷.

2. Модификацией добавки «Хризотоп» является «Стилобит». Для того чтобы выпускать гранулированную добавку «Стилобит», используют пропитанное дорожным битумом минеральное волокно высокого качества. Данная добавка включает битум, базальтовое и хризолитовое волокно (15, 30 и 55% соответственно).

Комбинированное минеральное волокно, входящее в состав добавки, повышает усталостную прочность асфальтобетона и препятствует процессу образования колеи – это увеличивает жизненный срок покрытия и, следовательно, уменьшает затраты на ремонт.

Кроме этого, волокно более битумоемкое по сравнению с целлюлозным – расход «Стилобита» будет меньше, при этом цена добавки существенно ниже известных импортных целлюлозных аналогов.

Все это позволяет достичь почти двукратной экономии при выпуске асфальта. Данная добавка характеризуется наличием значительной термостойкости. Перегрев не

⁶СТО 72376975-001-2009 Гранулированный стабилизатор «Хризотоп» для ЩМАС. Технические условия // Информпроект [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iprossoft.ru/docs/?nd=1200109780> (27.11.2022).

⁷Стабилизирующая добавка для ЩМА // [Электронный ресурс]. URL: Хризотоп [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chryzotop.ru/> (27.11.2022).

ведет к изменению его свойств. Возможно увеличение периода использования, хранения, поскольку «Стилобит» стоек к воздействию воды, не подвержен гниению [11].

3. «Viator-66» – гранулированная добавка, состав которой представлен битумом и целлюлозным волокном – 34 и 66% соответственно.

Данная добавка характеризуется высокой скоростью перемешивания в случае сухого замеса и равномерным распределением гранул в смесителе. Каждое из волокон имеет полное битумное покрытие, которое защищает волокна целлюлозы от воды, обгорания на солнце или в смесителе.

Данная стабилизирующая добавка абсолютно нетоксична и безопасна в использовании, не взрывается и не растворяется в воде с температурой 20 °С и ниже. Гранулированная стабилизирующая добавка для ЩМАС «Viator-66» обладает идеальной сыпучестью, однородно распределяет волокна целлюлозы по смеси и не собирается комками⁸.

4. Гидролизный лигнин представляет из себя сложный ароматический полимер (природный), обладающий клетчатыми свойствами и возникающий в результате биосинтеза земных растительных организмов.

Ранее понятие лигнина использовалось применительно к древесине, являющейся обессмоленной, которая не растворяется при обработке ее соляной кислотой 42% или серной кислотой 72%.

Из числа полимеров по распространенности лигнин занимает вторую позицию на земле после целлюлозы. Процесс формирования лигнина сопровождается появлением между его структурными составляющими многочисленных связей.

Результатом указанного процесса является полимолекула лигнина – полимер, строение которого является нерегулярным.

Как отмечает Фрейденберга, указанная молекула представлена в виде молекулы, которая образуется из повторяющихся мономеров, которые необязательно являются одноклеточными.

Доля лигнина от массы в соломе злаков, лиственных и хвойных породах – 12–20, 14–25, 23–38%.

Лигнин заполняет пространство между клетками, присутствует в стенках клеток. Лигнин, соответственно, обеспечивает скрепление волокон целлюлозы.

При переработке растительных волокон с использованием физико-химических методов происходит рост химической активности и одновременно многократное снижение молекулярной массы.

При обработке с использованием серной или соляной кислоты в концентрированном виде лесоматериалов происходит образование гидролизного лигнина. При этом давление поддерживается на уровне 1216–1418 кПа, температура – 180–185 °С.

Лигнин в абсолютно сухой форме имеет теплотворную способность 5500–6500 ккал/кг. Лигнин с точки зрения физико-химической характеристики является полидисперсной системой, с частицами, размеры которых составляют от нескольких микронов до нескольких мл.

Структура нитей в указанной системе – ленточная. Согласно результатам проведенных исследований, распределение фракций является следующим: менее 1 мкм – 0,2–4,3%, менее 250 мкм – 17–46%, более 250 мкм – 54–80% [12].

При проведении данного исследования был использован материал, отобранный с территории бывшего Тулунского гидролизного завода, высушенный в сушильном шкафу и просеянный через сито 2 мм для удаления посторонних крупных включений.

При увеличении гидролизного лигнина под микроскопом (40х) отчетливо видна ленточная структура нитей (рис. 1) [12].

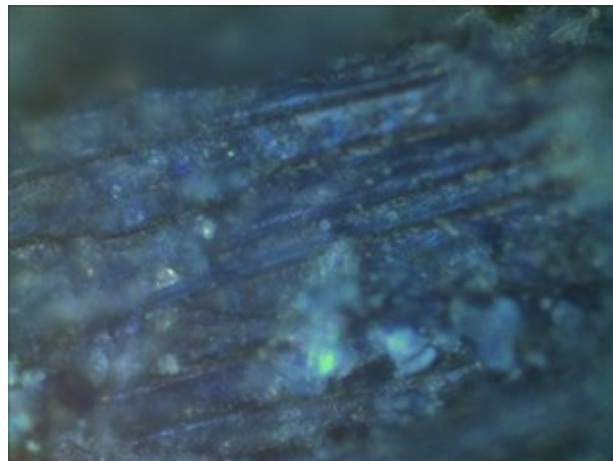


Рис. 1. Гидролизный лигнин под микроскопом 40х
Fig. 1. Hydrolytic lignin under a 40x microscope

⁸Стабилизирующая добавка для ЩМА смесей Viator-66 // ПАСТОМ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.щма.рф/> (27.11.2022).

Таблица 2. Показатели гидролизного лигнина
Table 2. Requirements for the physical properties of the fiber

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.1-2020[1]	Фактические значения
Влажность, % по массе	не более 8,0	6,58
Термостойкость $t = 220$ °С по изменению массы при прогреве, %	не более 7,0	2,79
Содержание волокон длиной 0,1 мм–2,0 мм, %	–	92

При рассмотрении лигнина как стабилизирующей добавки, он полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020³, по влажности, термостойкости при температуре 220 °С и однородности волокон, приведенным в табл. 2.

При проведении исследования были использованы прошедшие поверку средства измерений и аттестованное лабораторное оборудование, а также применены официально признанные методы исследования физико-механических характеристик асфальтобетонных смесей, таких как определение показателя стекания вяжущего согласно приложению ГОСТ Р 58406.1-2020³, определения показателя объемной плотности в соответствии с ГОСТ Р 58401.10⁹ на изготовленных согласно ГОСТ Р 58406.9¹⁰ образцах, показателя максимальной плотности ГОСТ Р 58401.16¹¹, показателя содержания воздушных пустот в соответствии с ГОСТ Р 58406.10¹², показателя коэффициента водостойкости по ГОСТ Р 58401.18¹³, показателя средней глубины колеи ГОСТ Р 58406.3¹⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Руководствуясь ГОСТ Р 58406.10¹¹ и ГОСТ Р 58406.1-2020³, запроектированы различные составы ЩМА-16, в которых для обеспечения показателя стекания вяжущего применены различные стабилизирующие добавки, в том числе: «Хризотоп», «Стилобит», «Vi-

атор-66», гидролизный лигнин.

При приготовлении асфальтобетонных смесей предварительно были определены зерновые составы и физико-механические показатели всех применяемых минеральных материалов, физико-химические свойства битума, а также нормируемые показатели стабилизирующих добавок, т.е. проведена оценка и подтверждена их пригодность для проектирования состава ЩМА-16.

Минеральная часть ЩМА-16 подбиралась таким образом, чтобы зерновой состав смеси удовлетворял требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020³ для ЩМАС.

Расчетным путем определено первоначальное содержание битума в смеси. Затем, в результате опытных замесов проб с содержанием битума на 0,5% менее, 0,5% более и 1% более первоначального построены графики зависимости свойств от содержания битума.

По графикам методом интерполяции определено оптимальное содержание вяжущего, которое составило 6,4%.

Количество стабилизирующей добавки в каждом конкретном случае подбиралось таким образом, чтобы обеспечить оптимальный показатель стекания вяжущего, близкий к 0,10%. Полученные составы ЩМА-16 представлены в табл. 3. Как видно из табл.3, составы различаются только содержанием стабилизирующих добавок.

⁹ГОСТ Р 58401.10-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения объемной плотности. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

¹⁰ГОСТ Р 58406.9-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов уплотнителем Маршалла. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

¹¹ГОСТ Р 58401.16-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения максимальной плотности. М.: Стандартинформ, 2019. 6 с.

¹²ГОСТ Р 58406.10-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2020. 17 с.

¹³ГОСТ Р 58401.18-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения водостойкости и адгезионных свойств. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

¹⁴ГОСТ Р 58406.3-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса. М.: Стандартинформ, 2020. 12 с.

Таблица 3. Составы асфальтобетонных смесей ЩМА-16

Table 3. Composition's of asphalt concrete mix SMA-16

Материал	Состав минеральной части смеси (битум, стабилизирующая добавка сверх 100%) с применением стабилизирующей добавки, % по массе			
	«Хризотоп»	«Стилобит»	«Viatop-66»	Гидролизный лигнин
Щебень фракции 8-16 мм ГОСТ 32703-2014 ¹⁵	69	69	69	69
Щебень фр. 4-8 мм ГОСТ 32703-2014 ¹⁵	5	5	5	5
Песок из отсевов дробления ГОСТ 32730-2014 ¹⁶	19	19	19	19
Минеральный порошок ГОСТ 32761-2014 ¹⁷	7	7	7	7
Битум БНД 100/130 ГОСТ 33133-2014 ¹⁸	6,4	6,4	6,4	6,4
Стабилизирующая добавка	0,4	0,4	0,5	0,7

При лабораторных замесах тщательно контролировались физико-механические свойства всех компонентов, температура нагрева минеральных материалов и битумного вяжущего. После приготовления проб в лаборатории перед испытаниями смеси термостатировались в сушильном шкафу не менее 2 ч при заданной температуре.

Главная задача стабилизирующей добавки – обеспечить устойчивость смеси к расслаиванию.

Метод стекания вяжущего позволяет выявлять устойчивость к расслаиванию. Применение данного метода предполагает определение способности смеси к удержанию в процессе ее загрузки, выгрузки, транспортирования битумного вяжущего. Смесь размещается в стакане из стекла, стакан опрокидывается, и требуется выявлять количество смеси, остающейся на стенках. При определении устойчивости в отношении расслаивания показатель стекания должен составлять по массе пробы максимум 0,2%. Рекомендуемый диапазон – 0,07–0,15%.

В результате опытных испытаний выявлено, что оптимальный средний показатель в районе 0,10% достигается при содержании Хризотоп 0,4%, стилобит 0,4%, виатоп-66 0,5%, гидролизного лигнина 0,7%.

Из полученных смесей были изготовлены образцы цилиндрической формы с использованием уплотнителя Маршала при температу-

ре 160 °С, которые были использованы для определения объемной плотности. Путем выявления присущей образцам массы в воде, на воздухе получены объемные плотности.

Для проведения испытаний на определение максимальной плотности пробы смесь размельчают ручным способом, пальцами рук отделяя крупные и мелкие частицы смеси. В контексте данного контроля качества, необходимо обеспечить, чтобы диаметр агрегатов, образованных из отдельных мелких частиц, не превышал 6,3 мм. Полученные пробы помещались в вакуумный пикнометр, где при помощи вакуума и вибрации удалялись воздушные пузырьки. Определив массу пробы на воздухе, а также в воде после испытания, получены максимальные плотности. Из данных показателей вычисляют содержание воздушных пустот, а также пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ). Полученные данные полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020³. Далее для каждого состава изготавливались по 2 серии образцов на уплотнителе Маршала с определенным содержанием воздушных пустот и определены показатели водостойкости. Суть данного метода заключается в измерении предела прочности при непосредственном растяжении нескольких образцов, на которые было оказано воздействие воды и прошли цикл замораживания-оттаивания, а также образцов, выдержанных на воздухе при температуре (22 ± 3) °С, с целью определения

¹⁵ГОСТ 32703-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

¹⁶ГОСТ 32730-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

¹⁷ГОСТ 32761-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

¹⁸ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 7 с.

и сравнения значений данных параметров¹². Также были проведены лабораторные испытания по определению средней глубины колеи, которая, согласно ГОСТ 58406.1-2020³, является основным показателем (эксплуатационным) ЩМА. Определение средней глубины колеи проводилось в условиях лаборатории на специальной установке.

Основное назначение данного метода заключается в оценке стойкости испытуемого образца путем проведения циклических испытаний на прочность.

В ходе этого процесса нагруженное колесо прокатывается по поверхности образца при заранее установленной температуре, и после выполнения 10 000 циклов нагрузки (или до тех пор, пока не будет достигнуто предельное

значение) глубина образовавшейся колеи измеряется с целью определения стойкости к образованию колеи¹³.

Испытания проводятся в следующем порядке: из ЩМА смеси изготавливаются не менее двух образцов-плит на вальцовом уплотнителе, затем образцы подвергаются нагружению колесом на стенде. Испытательной установкой автоматически фиксируется полученные результаты и рассчитывается среднеарифметическое значение с точностью до 0,1 мм.

Таким образом, определены все основные физические и эксплуатационные показатели ЩМА-16. Все показатели полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020³ и сведены в табл. 4.

Таблица 4. Основные физические и эксплуатационные показатели ЩМА-16

Table 4. The main physical and environmental indicators of SMA-16

Показатель	ГОСТ Р 58406.1-2020	СД «Хризотол», 0,4%	СД «Стилобит», 0,4%	СД «Viator-66», 0,5%	СД Гидролизный лигнин, 0,7%
Объемная плотность, г/см ³	не нормир.	2,398	2,393	2,388	2,384
Содержание воздушных пустот, %	2,0–4,0	3,5	3,8	3,7	3,6
Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %	не менее 16	16,19	16,37	16,65	16,93
Средняя глубина колеи, мм	не более 4,0	3,8	3,7	3,5	3,6
Максимальная плотность, г/см ³	не норм.	2,484	2,487	2,479	2,474
Показатель стекания вяжущего, %	не более 0,20	0,12	0,09	0,12	0,10
Водостойкость	не менее 0,85	0,92	0,94	0,93	0,95

Таким образом, все составы одинаковые, за исключением используемых стабилизирующих добавок, и полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020³. По полученным опытно-экспериментальным данным можно провести достоверную оценку влияния каждой стабилизирующей добавки, в том числе гидролизного лигнина, на основные физические и эксплуатационные показатели смеси ЩМА-16.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования по испытан-

ным физическим и эксплуатационным показателям получены близкие результаты. Таким образом выявлено, что стабилизирующие добавки не оказывают значительного влияния на показатели ЩМАС, не считая показатель стекания вяжущего. Незначительные расхождения в остальных показателях связаны с погрешностью при проведении испытаний, изменению зернового состава смеси ввиду различной дозировки СД, а также наличием в составе некоторых СД битума.

Отмечено незначительное повышение во-

достойности в случае применения гидролизного лигнина, возможно связанное с его способностью модифицировать дорожный битум [3–7].

Кроме того, экспериментально установлена возможность замены традиционно используемых стабилизирующих добавок на отход переработки древесины – гидролизный лигнин.

Гидролизный лигнин позволяет эффективно стабилизировать битум и удерживать его на поверхности щебня, однако его дозировка выше традиционно используемых стабилизи-

рующих добавок, в том числе добавки виатопп-66 на основе целлюлозы, также являющейся производной деревообработки.

Данный факт связан с присутствием в гидролизном лигнине различных примесей, которые могут составлять 22–60%¹⁹.

Таким образом, применение в виде добавки-стабилизатора в ЦМАС гидролизного лигнина позволит заменить традиционно применяемые в щебеночно-мастичных асфальтобетонах стабилизирующие добавки на отход переработки древесины – гидролизный лигнин и снизить экологическую нагрузку на регион.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rabinovich M.L. Lignin by-products of Soviet hydrolysis industry: Resources, characteristics and utilization as a fuel // *Cellulose Chemistry And Technology*. 2014. Vol. 48. No. 7. P. 613–631.
2. Krutov S.M., Voznyakovskii A.P., Gordin A.A., Savkin D.I., Shugalei I.V. Environmental problems of wood biomass processing. Waste processing lignin // *Russian Journal of General Chemistry*. 2015. Vol. 85. No. 13. P. 2898–2907. <http://doi.org/10.1134/S1070363215130058>.
3. Товеницкий Ю.В., Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж., Кузнецов Ю.Н. Модификация дорожного битума отходами производства // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 59–62. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-743-11-59-62>. EDN: XBKBYP.
4. Xin Fu, Mao He, Yuancai Liu. Study on aging of lignin modified asphalt under thermogravimetric conditions // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 233. P. 01104. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123301104>.
5. Chi Xu, Duanyi Wang, Shaowei Zhang, Enbei Guo, Haoyang Luo, Zeyu Zhang, Huayang Yu. Effect of Lignin Modifier on Engineering Performance of Bituminous Binder and Mixture // *Polymers*. 2021. Vol. 17. No. 7. P. 1083. <https://doi.org/10.3390/polym13071083>.
6. Yi Zhang, Xuancang Wang, Guanyu Ji, Zhenyang Fan, Yuchen Guo, Wenzhe Gao, Lei Xin. Mechanical Performance Characterization of Lignin Modified Asphalt Mixture // *Applied sciences*. 2020. Vol. 10. No. 9. P. 3324. <https://doi.org/10.3390/app10093324>.
7. Дошлов О.И., Казарян А.С., Дошлов И.О. Но-

- вые аспекты утилизации технического гидролизного лигнина в качестве сырья для промышленного производства // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 11 (94). С. 205–210. EDN: TALHWF.
8. Киселёв В.П., Иванова Л.А., Шевченко В.А., Бугаенко М.Б., Кеменев Н.В. Лигнинсодержащие полимеры в асфальтобетонных смесях // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 7 (78). С. 61–68. EDN: QUUJBD.
9. Пат. 2192399, РФ, МПК C04B 26/26. Асфальтобетонная смесь / О.И. Дошлов, Г.А. Белинский, Б.Н. Гуцалюк, О.А. Балог, Б.Ф. Кухарев, А.О. Дошлова, В.А. Хорошилова; заявитель и патентообладатель ОАО «Иркутскипродорнии». № 2001103600/03; заявл. 09.02.2002; опубл. 10.11.2002.
10. Ханнакова Г.Т., Струговец И.Б., Аминов Ш.Х., Недосеко И.В. Использование промышленных отходов в составах щебеночно-мастичного асфальтобетона // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2009. № 2. С. 283–288.
11. Калинина К. Стабилизирующая добавка Стилобит // *Сумма проектов [Электронный ресурс]*. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=308> (27.11.2022).
12. Balabanov V., Protsenko M. Stone mastic asphalt with the use of a stabilizing additive from hydrolytic lignin // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 667. P. 012007.

REFERENCES

1. Rabinovich M.L. Lignin by-products of Soviet hydrolysis industry: Resources, characteristics and utilization as a fuel. *Cellulose Chemistry And Technology*. 2014;48(7):613-631.

2. Krutov S.M., Voznyakovskii A.P., Gordin A.A., Savkin D.I., Shugalei I.V. Environmental problems of wood biomass processing. Waste processing lignin. *Russian Journal of General Chemistry*.

¹⁹Смирнова А.И., Демьянцева Е.Ю. Переработка и применение полимеров. Лигнины: Получение. Свойства. Переработка: учеб. пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. 98 с.

2015;85(13):2898-2907.

<http://doi.org/10.1134/S1070363215130058>.

3. Tovinnitskiy Yu.V., Mogonov D.M., Ayurova O.Zh., Kuznetsov Yu.N.. Modification of road bitumen by production waste. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2016;11:59-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-743-11-59-62>. EDN: XBKBYP.

4. Xin Fu, Mao He, Yuancai Liu. Study on aging of lignin modified asphalt under thermogravimetric conditions. *E3S Web of Conferences*. 2021;233:01104.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123301104>.

5. Chi Xu, Duanyi Wang, Shaowei Zhang, Enbei Guo, Haoyang Luo, Zeyu Zhang, Huayang Yu. Effect of Lignin Modifier on Engineering Performance of Bituminous Binder and Mixture. *Polymers*. 2021;17(7):1083.

<https://doi.org/10.3390/polym13071083>.

6. Yi Zhang, Xuancang Wang, Guanyu Ji, Zhenyang Fan, Yuchen Guo, Wenzhe Gao, Lei Xin. Mechanical Performance Characterization of Lignin Modified Asphalt Mixture. *Applied sciences*. 2020;10(9):3324.

<https://doi.org/10.3390/app10093324>.

7. Doshlov O.I., Kazarian A.S., Doshlov I.O. New aspects of recycling technical hydrolyzed lignin as raw material for industrial production. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-*

versiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2014;11:205-210. (In Russ.). EDN: TALHWF.

8. Kiselyov V.P., Ivanova L.A., Shevchenko V.A., Bugaenko M.B., Kemenev N.V. Lignin containing polymers in asphalt concrete mixtures. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;7(78):61-68. (In Russ.). EDN: QUUJBD.

9. Doslov O.I., Belinsky G.A., Gutsalyuk B.N., Balog O.A., Kukharev B.F., Doshlova A.O., Khoroshilova V.A. Asphalt concrete mixture. Patent RF, no. 2001103600/03, 2002.

10. Hannanova G.T., Strugovets I.B., Aminov Sh.Kh., Nedoseko I.V. The use of industrial waste in the compositions of stone mastic asphalt concrete. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2009;2:282-288. (In Russ.). EDN: KZHGYH.

11. Kalinina K. Stabilizing additive Stylobate. Available from: <https://sumpro.ru/articles/article?id=308> [Accessed 27th November 2022]. (In Russ.)

12. Balabanov V., Protchenko M. Stone mastic asphalt with the use of a stabilizing additive from hydrolytic lignin. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019;667:012007.

Информация об авторах

Балабанов Вадим Борисович,

к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: balabanovvb@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-2884-9674>

Молоков Владимир Сергеевич,

аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: v-mols@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-7446-2365>

Information about the authors

Vadim B. Balabanov,

Cand Sc. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Automobile Roads,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: balabanovvb@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-2884-9674>

Vladimir S. Molokov,

Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: v-mols@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-7446-2365>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.03.2023.
Одобрена после рецензирования 30.05.2023.
Принята к публикации 01.06.2023.

Information about the article

The article was submitted 30.03.2023.
Approved after reviewing 30.05.2023.
Accepted for publication 01.06.2023.