DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99

Траутваин А.И., *Сырых А.А.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
**E-mail: syryhalina@gmail.com*

АНАЛИЗ РЫНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ БИТУМА

Аннотация. *Повышение трещиностойкости, сдвигоустойчивости, усталостной стойкости, морозостойкости, шероховатости и понижение истираемости и уровня шума можно добиться при помощи использования щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в верхних слоях дорожных одежд. Получение щебеночно-мастичного асфальтобетона с высокими эксплуатационными и функциональными характеристиками зависит от качества применяемой стабилизирующей добавки. Проблемы усовершенствования, укрепления дорожного покрытия и, в особенности, верхних слоев дорожной одежды являются актуальными, поэтому специалисты дорожной отрасли непрерывно работают над тем, чтобы сделать покрытие устойчивым ко внешним воздействиям и условиям современного и быстро меняющегося транспортного потока, при этом уделяют внимание различным добавкам, которые призваны укрепить и прочнее связать составляющие дорожного покрытия. Рынок стабилизирующих добавок в основном представлен зарубежными производителями, а использование отечественных аналогов в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона приводит к получению смеси неудовлетворительного качества. В работе рассмотрен широкий перечень существующих стабилизирующих добавок, компонентный состав, а также их преимущества и недостатки. Рассмотрены основные свойства получаемого щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе наиболее распространенных видов добавок как импортного, так и отечественного производства. На основании полученных данных сделаны теоретические предпосылки для разработки и проведения лабораторных исследований новой стабилизирующей добавки с использованием природного полимерного волокна на основе отходов производства целлюлозы.*

Ключевые слова: *щебеночно-мастичный асфальтобетон, стекание, сдвигоустойчивость, стабилизирующая добавка, структурообразование, модифицирование, целлюлозные волокна, полимерные волокна, органические волокнистые добавки, лигнин.*

Введение. Исследователи в сфере эксплуатации автомобильных дорог стали отмечать, что покрытие стало быстрее терять свои свойства и, следовательно, срок службы автомобильной дороги стал меньше. Проблема состоит в том, что ежегодно увеличивается количество автотранспорта и их грузоподъемность становится выше. Данный факт влияет на износ дорожной одежды и срок службы дороги в негативную сторону. Поэтому необходимо изучить новые материалы и технологии, которые бы помогли решить поставленную проблему. Одним из решений является – технология укладки верхнего слоя дорожной одежды из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) [1].

В России щебеночно-мастичный асфальтобетон был воспринят как материал для верхних слоев покрытия, предназначенный для борьбы с колейностью. С накоплением практического опыта его использования на российских дорогах отношение к нему стало положительным [2].

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) представляет собой материал, созданный специально для верхних слоев дорожного покрытия на дорогах с высокой интенсивностью транспортного движения. Хорошее сопротивление пластическим деформациям обеспечивается за счет прочного скелета из фракционированного щебня. А долговечность щебеночно-мастичного асфальтобетона обеспечивается при помощи наличия большого количества битумного вяжущего. Битум не только покрывает все частицы каменных материалов, входящих в состав ЩМА, но и заполняет воздушные пустоты между ними, что препятствует накоплению воды в структуре материала. [3-5]. Однако повышенное содержание вяжущего в составе ЩМА сложно удержать в межкаменном пространстве без использования специальных стабилизирующих добавок. При этом современных рынок производимых добавок достаточно широкий, стоимость высокая, а эффективность не всегда соответствует требованиям, заявленным производителем. В связи с чем у производителей щебеночно-мастичного асфальтобетона возникает потребность в проведении анализа существующих стабилизирующий добавок, определения их преимуществ и недостатков. Также на основании полученной инфор-

мации будет сформировано направление дальнейших экспериментальных исследований по созданию наиболее эффективной отечественной добавки.

Материалы и методы. В ходе исследований был проведен информационный поиск литературных источников, выполнен обзор научной и технической литературы по данной теме. Целью поиска - анализ информации по теме исследования за последнее время, установление уровня технического развития и обобщение в виде научного обзора. Для определения ключевых добавок были использованы метод обобщения, абстрагирования, сравнения. Проведена классификация стабилизирующих добавок в соответствии с их особенностями. Для облегчения информационного поиска были использованы средства систематизации источников информации. Обязательным условием выполнения полного библиографического исследования является знакомство с публикациями журналов «Автомобильные дороги», «Мир дорог», «Известия вузов. Строительство», «Дороги России XXI века», «Наука и техника в дорожной отрасли», «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», «Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова», «Студент и наука».

Основная часть. Асфальтобетонная смесь, которая в своем составе имеет крупный щебень, песок, минеральный порошок, битум и стабилизирующую добавку, называется щебеночно-мастичным асфальтобетоном. В нем каркас состоит из щебня, а все пустоты между ним заполнены смесью битума с песком и минеральным порошком [4].

Фракционированный щебень является основой структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона. Его доля в смеси составляет 70–80 % по массе. Особенностью ЩМА является предпочтительное использование щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен. Мелкий щебень тоже используется в смеси, он служит для образования мастики. Она необходима для заполнения межкаменных пустот в каркасе из фракционированного щебня. Благодаря тому, что в щебеночно-мастичной смеси используется крупная фракция щебня, обеспечивается высокая шероховатость покрытия. Тем самым увеличивается коэффициент сцепления колеса транспортного средства с покрытием, что позволяет сделать вывод о повышении безопасности дороги. В смеси традиционного асфальтобетона допускается наличие частиц лещадной и пластинчатой формы до 25 %, в то время как в смеси щебеночно-мастичного асфальтобетона допускается не более 10–15 %. Этим требованием объясняется применение щебня именно кубовидной формы – 1-ая группа, так как данный вид щебня характеризуется содержанием частиц пластинчатой и угловатой формы не более 15 %. В ЩМА содержание битума составляет 5,5–7,5 %, что на 1,5–2,5 % больше, чем в обычном асфальтобетоне. Это необходимо для того, чтобы заполнить все пространство между частицами заполнителей и наполнителя и уменьшить остаточную пористость [4].

Еще одной особенностью щебеночно-мастичного асфальтобетона является наличие объемного битума и небольшого количества стабилизирующей добавки, которая необходима для дисперсного армирования вяжущего. Объемный битум является той частью вяжущего, которая не подвержена сильному воздействию поверхностных сил на границе раздела фаз. Разделение между объемным и структурированным битумом практически неотличимо по толщине битумной прослойки, разделяющей минеральные зерна смеси. Однако различие существует, потому что стабилизирующая добавка предназначена для удерживания более толстых пленок битумного вяжущего на поверхности щебня и предотвращения его отслоения и вытекания из смеси при высоких температурах на различных этапах процесса подготовки, транспортировки и укладки [5].

Преимущества щебеночно-мастичного асфальтобетона обусловлены уникальным составом, технологией приготовления и укладки, а также использованием современных добавок. Ключевым элементом щебеночно-мастичного асфальтобетона является повышенное содержание вяжущего, в основном, битума. Именно оно обеспечивает высокую водо- и морозостойкость, а также улучшает трещиностойкость покрытия. Битумная пленка, образующаяся на поверхности щебня, препятствует проникновению влаги внутрь покрытия, защищая его от разрушения при перепадах температур и циклах замерзания-оттаивания. Важную роль играет и крупный кубовидный щебень, который не только повышает прочность, но и улучшает сцепление шин с дорогой. Кубовидная форма щебня обеспечивает повышенную шероховатость поверхности, а также способствует улучшению показателей сдвигоустойчивости и износостойкости, что делает дорогу более безопасной для движения. Уменьшение размера зерен каркасообразующей фракции в составе ЩМА позволяет снизить уровень шума на 4–6 дБ по сравнению с традиционным асфальтобетоном и повысить коэффициент сцепления пневматических шин при движении автомобилей по покрытию. За счет того, что щебеночно-мастичный асфальтобетон имеет более жесткую

структуру в сравнении с традиционным асфальтобетоном, его можно укладывать сравнительно тонким слоем (от 3 до 6 см), при этом экономия материала достигает до 40 %. Такую технологию укладки можно объяснить чувствительностью смеси и тем, что тонкие слои достаточно быстро остывают.

Более 25 лет щебеночно-мастичный асфальтобетон используется на дорогах различных категорий, преимущественно с высокой интенсивностью движения, и дорожно-климатических зонах. За это время он смог показать, что является долговечным и износостойким материалом для слоя покрытия [6].

На рисунке 1 отчетливо видно различие в структурах щебеночно-мастичного и традиционного асфальтобетонов. В ЩМА видно повышенное содержание крупной фракции щебня, а содержание большого количества битумного вяжущего, в комплексе с наполнителем (песок и минеральный порошок), позволяет заполнить все пустоты между камнями щебня, за счет чего достигается высокая плотность (низкая остаточная пористость). На рисунках 2 и 3 показана структура в уложенном состоянии и в виде керна.

а) б)

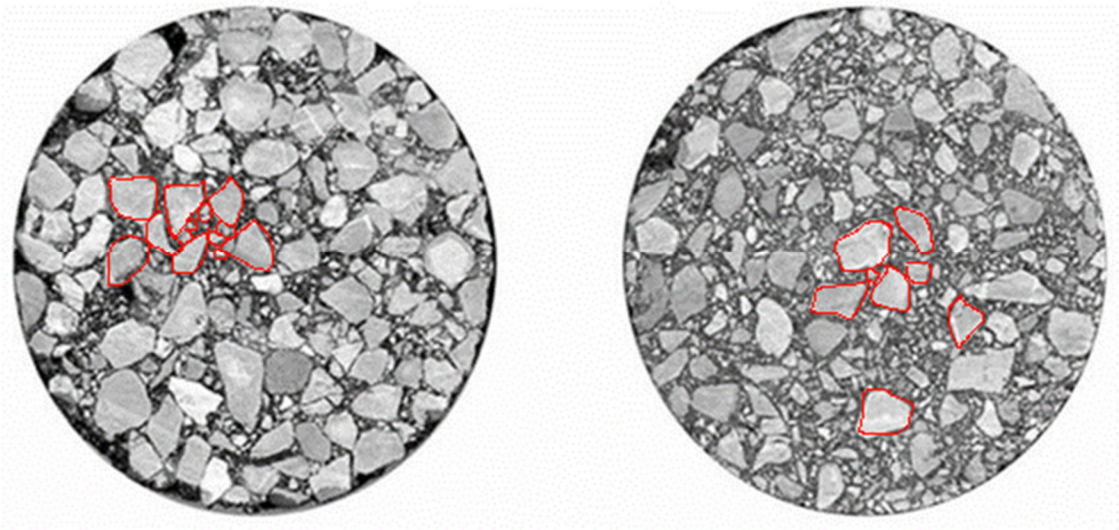

Рис.1. Структура асфальтобетонов
а – ЩМА; б – традиционный асфальтобетон

Рис. 2. Структура уложенного ЩМА

Рис. 3. Структура керна ЩМА

Широкое распространение ЩМА получили в Европе. Рассматриваемый материал может использоваться при строительстве взлетно-посадочных полос, мостовых сооружений, ремонте цементобетонных покрытий на автобанах, при устройстве верхних слоев дорожной одежды на дорогах любых категорий и городских улицах в I-V климатических зонах, а также в местах стоянки воздушных судов. Название марки щебеночно-мастичного асфальтобетона базируется на максимальном размере зерен. Таким образом, сейчас известны следующие марки: ЩМА-8, ЩМА-11, ЩМА-16, ЩМА-22 [7].

Однако у покрытий из щебеночно-мастичных смесей есть и недостатки. После уплотнения щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси на поверхности покрытия могут появляться битумные пятна. Данный недостаток объясняется повышенным содержанием вяжущего. Помимо этого, причиной появления битумных пятен является слабая стабилизирующая способность добавок, которые используются при приготовлении смеси.

В настоящее время для регулирования свойств щебеночно-мастичного асафальтобетона используют различные стабилизирующие добавки. Они являются ключевым элементом состава ЩМА, так как обеспечивают структурирование смеси, препятствуя сегрегации и стеканию вяжущего с поверхности каменного материала при высоких температурах, то есть в процессах приготовления, хранения, транспортировки и укладки. Для предотвращения стекания вяжущего в смесь вводят битумоноситель (т.е. стабилизирующую добавку), который впитывает в себя неструктурированное вяжущее. Характер адсорбционного процесса между поверхностью волокон и битумом обусловливается действием молекулярных сил и величиной поверхностной энергии. В результате адсорбции на поверхности волокна образуется адсорбционный слой повышенной вязкости, обеспечивающий сцепление битума с поверхностью. Поэтому необходимо уделять особое внимание правильности выбора стабилизирующей добавки.

Современные стабилизирующие добавки в виде гранул и волокон выпускаются из следующих материалов:

– резина;
– полимеры;
– акрил;
– асбест;
– целлюлоза;
– различные минеральные компоненты и термопластичные полимеры.

Обычно стабилизирующая добавка представляет собой целлюлозные волокна. Добавки необходимы для того, чтобы повысить толщину битумной пленки. С помощью этого получится достичь нужного количества свободного битума и добиться однородности смеси.

К волокнам предъявляются следующие требования:

– ленточная структура;
– длина нитей от 0,1 до 2,0 мм;
– однородность;
– отсутствие пучков, сложений нераздробленного материала и других включений.

Также помимо натуральных целлюлозных волокон допустимо и применение синтетических (акриловых, минеральных, стеклянных и пр.) и различных других добавок (резинового порошка,

полимеров и пр.), отвечающих требованиям нормативной документации на ЩМАС [8–9].

Однако после перехода от единичного производства ЩМА к массовому все чаще и чаще стали проявляться определенные дефекты смеси, в частности, сегрегация и появление битумных пятен различной величины (иногда обширной площади) на вновь уложенной дорожной поверхности непосредственно в процессе уплотнения. После дополнительных исследований было обнаружено, что, несмотря на прекрасный стабилизирующий эффект, свободные волокна обладают серьезными недостатками:

– повышенная гигроскопичность. Целлюлозные волокна достаточно хорошо впитывают влагу из окружающей среды, что усложняет процесс их хранения и транспортировки. В случае значительного повышения влажности добавки, её применение в составе асфальтобетонной смеси не представляется возможным;

– свободные волокна затрудняют распределение в смесителе;

– склонность к комкованию, что затрудняет дозирование и дальнейшее распределение в смесителе;

– высокая вероятность обгорания. Когда свободные волокна попадают в смеситель на перегретый инертный материал (190–200 °С), то, в первую очередь, происходит обгорание интермолекулярных ОН-мостиков, которыми молекула целлюлозы связывается с молекулами вяжущего и каменного материала [10–12].

Механизм работы стабилизирующей добавки объясняется явлением хемосорбции. Хемосорбция – поглощение вещества из паровой фазы или раствора поверхностью твердого тела, при котором между адсорбированными молекулами и поверхностными слоями твердого тела возникает химическое взаимодействие [13–14].

Дальнейшим эволюционным развитием семейства стабилизаторов стало появление гранулированных добавок. Гранулированные добавки представляют собой волокна, спрессованные в гранулы с их обработкой модифирующими составами или без нее. Волокнистая добавка должна быть однородной, без примесей, устойчивой к нагреву до температуры 220 °С и обладать влажностью не более 8 % по массе. Гранулированные добавки можно разделить на 3 вида [15]:

– гранулы из чистой целлюлозы;

– с добавлением модификаторов (воск, парафин, стеарин и др.), которые уменьшают гигроскопичность;

– с битумным покрытием. С его помощью можно обеспечить необходимую водонепроницаемость и улучшить сыпучесть гранул. За счет этого предотвращается слипание гранул при хранении и обгорание при производстве. Перечисленные качества упрощают дозирование и повышают равномерность распределения гранул в смесителе. Преимуществом является тот факт, что процесс происходит без увеличения времени сухого перемешивания. Кроме того, можно использовать дополнительные добавки, например, такие как полимерные, минеральные волокна, резиновый порошок и другие. Они способны удерживать битум без ухудшения качества смеси. Пригодность данных добавок и оптимальное содержание в смеси определяются путем проведения испытаний [14].

Последнее исключает насыщение влагой целлюлозных волокон, что обеспечивает простую и надежную систему дозирования, прекрасное распределение в смесителе без увеличения времени сухого перемешивания и, как результат, стабильную смесь. Кроме этого, наличие битумного покрытия предотвращает обгорание волокон при их подаче на горячий инертный материал [16].

Перейдем к рассмотрению некоторых популярных торговых марок добавок, содержащих целлюлозные волокна. Целлюлозные волокна могут быть представлены в свободном состоянии (TECHNOCEL) или в виде гранул, изготовленных из чистой целлюлозы (TOPCEL) или смеси с различными углеводородами продуктами: битумным покрытием (VIATOP, ITERFIBRA).

Стабилизирующая добавка в щебеночно-мастичный асфальтобетон Topcel представляет собой гранулированный материал. В его состав входит 90–93 % целлюлозного волокна и 7–10 % восковой смеси. Она необходима для обволакивания гранул.

Расход материала определяется количеством волокна в добавке, благодаря этому стабилизирующая добавка Topcel имеет самый низкий расход среди аналогов: 0,28–0,32 % от массы смеси. Это преимущество значительно выделяет добавку Topcel в сравнении с множеством других добавок, представленных на российском рынке [17].

В 2011 году была разработана новая стабилизирующая добавка. Она запущена в производство российской фирмой ГБЦ под названием – СД-3 ГБЦ. Гранулы стабилизирующей добавки состоят на 90 % из волокон сульфатной небеленой целлюлозы с добавлением битумного вяжущего марки БНД 90/130. Для приготовления смеси необходимым количеством добавки является 3–4 кг из расчета на тонну. Стоимость при этом составляет 47 руб/кг [18].

Для достижения максимального качества и эффективности щебеночно-мастичного асфаль-

тобетона требуется применение специальных добавок, повышающих его прочность, долговечность и снижающих стоимость. Одной из таких добавок, зарекомендовавших себя в строительной индустрии, является «Viatop-66». Эта комплексная структурирующая добавка, представляющая собой серые цилиндрические гранулы без запаха, содержит в себе два ключевых компонента: полимерный модификатор и стабилизирующий армирующий компонент. Полимерный модификатор играет важную роль в улучшении качества вяжущего. Он повышает его эластичность, что особенно важно при использовании щебеночно-мастичного асфальтобетона в регионах с климатом, где наблюдаются значительные перепады температур. Полимерные молекулы, внедряясь в структуру битума, создают дополнительную прочность и пластичность, препятствуя его хрупкости при низких температурах и растеканию при высоких. Стабилизирующий армирующий компонент, входящий в состав Viatop-66, представлен целлюлозным волокном, обработанным специальным способом. Благодаря своей трехмерной структуре, целлюлозные волокна создают своеобразный каркас внутри асфальтобетонной смеси. Этот каркас обеспечивает высокую прочность на растяжение и сжатие, препятствуя образованию трещин и деформаций при нагрузках. Кроме того, целлюлозные волокна повышают водонепроницаемость материала, предотвращая попадание влаги в дорожное покрытие и его разрушение. Битум, покрывающий целлюлозные волокна в Viatop-66, обеспечивает равномерное и качественное распределение волокон в асфальтобетонной смеси, что способствует равномерному распределению напряжений и повышению устойчивости материала к усталостным нагрузкам. Viatop-66 изготавливается из природных материалов - целлюлозных волокон, обработанных битумом. Подобные свойства гранулированного материала существенно упрощают требования к системе дозирования, повышают равномерность распределения гранул в смесителе без увеличения времени сухого перемешивания. Наличие битумного покрытия также предотвращает обгорание волокон целлюлозы при попадании на горячий инертный каменный материал. Добавка нетоксична, взрывобезопасна и соответствует всем необходимым требованиям безопасности. Внедрение Viatop-66 в производство щебеночно-матичного асфальтобетона – это прорыв в области дорожного строительства, позволяющий повысить качество и долговечность дорожных покрытий, сократить расходы на строительство и эксплуатацию [19].

Стабилизирующая-модифицирующая добавка марки «VIATOP plus CT-40» представляет собой не растворимые в воде, нетоксичные, взрывобезопасные цилиндрические гранулы серого цвета без запаха. С помощью данной добавки повышаются технологические свойства асфальтобетонных смесей, а также они призваны значительно повысить показатели водостойкости и трещиностойкости асфальтобетона. В процессе приготовления качественного асфальтобетона применяются стабилизирующие добавки. Они не позволяют расслаиваться ингредиентам, из которых и состоит раствор. Одной из таких добавок является Виатоп (Viatop) Plus CT 40. В его состав входят целлюлоза и воск. Внешне стабилизирующая добавка представляет собой темно-зеленые гранулы, покрытые воском [19].

Гранулированная стабилизирующая добавка для ЩМА смесей VIATOP premium изготовлена из обработанной особым способом целлюлозы. Битум, входящий в состав добавки, обеспечивает качественное и равномерное распределение целлюлозных волокон в смесителе. Трехмерная структура составляющих веществ в VIATOP premium гарантирует 100% стабилизирующий эффект и экономичное производство дорожного покрытия. Стабилизатором вяжущего материала в данной смеси выступает мелко- и длинноволокнистая целлюлоза, разработанная непосредственно для дорожной промышленности. На 90 % данная стабилизирующая добавка состоит из целлюлозного волокна, а на 10 % – из дорожного битума. Целлюлозное волокно и полимеры добавляют в смесь непосредственно на асфальтобетонном заводе (АБЗ) в расчете 3 кг добавки на одну тонну смеси, что обеспечивает экономичное использование материала [19].

Рассмотрев все плюсы и минусы традиционных добавок из целлюлозы, на следующем этапе исследований осуществлен анализ альтернативных способов повышения характеристик щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Инновационные исследования в сфере асфальтобетонных смесей демонстрируют, что современные разработки направлены не только на поиск новых материалов, улучшающих механические свойства покрытия, но и на обнаружение новых добавок, способных продлить срок службы, расширить рабочий температурный диапазон и обеспечить требуемые характеристики поверхности.

Одним из эффективных стабилизаторов для ЩМА является резиновый термоэластопласт (РТЭП) – сложная многокомпонентная смесь полиолефинового полимера и битума. Использование РТЭП в асфальтобетонных смесях улучшает показатели устойчивости к образованию трещин и долговечности при растяжении и динамических нагрузках [7].

Продолжая исследование известных полимерных добавок, хотелось бы отметить гранулированную добавку «ВЕСТОПЛАСТ». Уникальность добавки состоит в способе ее введения. Необходимо добавлять гранулят вместе с минеральным порошком. Далее добавка расплавляется в смесителе и при перемешивании адсорбируется на поверхностности минеральных зерен. За счет этого обеспечивается однородность смеси при высоком содержании битума [7].

Полимерная добавка СЕВИПАВ. Ее состав включает в себя битум, полиамидное волокно и отход гидроизоляции трубопроводов, представляющий собой двухслойную ленту усадочного материала. Верхний слой этой ленты состоит из адгезионной композиции, что способствует прочному сцеплению с изолируемой поверхностью. СЕВИПАВ оказывает комплексное воздействие на асфальтобетонную смесь: полиамидное волокно создает армирующий каркас, препятствующий разделению битумной составляющей и минерального наполнителя. Доказано, что добавка СЕВИПАВ повышает прочность смеси на сдвиг, сжатие при 50 °С и растяжение при 0 °С. Это позволяет создавать более износостойкие дорожные покрытия, способные выдерживать значительные нагрузки [7].

Однако СЕВИПАВ – не единственная полимерная добавка, применяемая для модификации асфальтобетона. 15 лет назад компания ООО "Уником" запатентовала новую щебеночно-мастичную смесь, содержащую резиновую крошку – измельченный резиновый вулканизат. Резиновая крошка представляет собой измельченные шины, отходы резиновых изделий. В резиновой крошке присутствует активный резиновый порошок, который повышает сцепление с битумом, а также метасиликат с игольчатой структурой, который способствует увеличению прочности и водонепроницаемости смеси. Инициатор гелеобразования – вещество, которое способствует образованию прочного гелеобразного слоя в битуме, повышающего его вязкость и прочность. Структурирующий агент – это вещество, которое улучшает однородность смеси, повышает ее пластичность и устойчивость к деформациям. Внедрение резиновой крошки в состав асфальтобетона позволило получить материал с повышенными свойствами водостойкости и прочности, а также улучшенными шумоизоляционными свойствами: резиновая крошка позволяет снизить шум от проезжающих автомобилей, что особенно актуально в городских условиях.

Спустя несколько лет компания ООО "Уником" разработала модифицированную добавку «УНИРЕМ-001», которая стала еще более эффективной. Состав запатентованной асфальтобетонной смеси включает вязкий дорожный битум, аминную поверхностно-активную добавку. Добавка представляет собой триэтаноламин, регранулят полимерного этилен-пропилена. В свою очередь регранулят полимерного этилен-пропилена содержит полимерную составляющую и дисперсные волокна из пропилена. Применение «УНИРЕМ-001» позволило достичь еще более высоких результатов в сравнении с первой разработкой. «УНИРЕМ-001» делает асфальтобетон более прочным на сдвиг, сжатие и растяжение, что позволяет создавать дорожные покрытия, способные выдерживать более интенсивные нагрузки. Сочетание полимерных компонентов в "УНИРЕМ-001" делает асфальтобетон более долговечным, что снижает затраты на ремонт и обслуживание дорожного покрытия.

Помимо полимерных добавок, в щебеночно-мастичных смесях используются и минеральные волокнистые материалы, такие как асбестовые отходы. В прошлом асбест широко применялся в строительстве, однако в настоящее время его использование ограничено из-за вредного воздействия на здоровье. Хризотил менее опасный вид асбеста, но также может вызывать заболевания при длительном контакте. Стекловолокно более безопасный и эффективный материал, который используется в большинстве современных асфальтобетонных смесей. Волокна из диабаза – прочный и устойчивый к высоким температурам материал, который повышает прочность и долговечность асфальтобетона. Важно отметить, что применение тех или иных добавок зависит от конкретных условий и требований к дорожному покрытию. Правильный выбор добавки позволяет создать более прочные, долговечные и безопасные дороги, что, в конечном итоге, приводит к экономии денежных средств и улучшению качества жизни.

На рынке стабилизирующих добавок отечественные производители также демонстрируют успешную конкурентоспособность. Одним из ярких примеров является гранулированный стилизатор «Хризотоп». «Хризотоп» – это уникальная композиция, состоящая из хризотилового волокна и органического связующего, обеспечивающая комплексное решение для повышения прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий. Ключевой элемент «Хризотопа» – хризотиловое волокно. Это природный материал, отличающийся высокой устойчивостью к гниению. Хризотиловое волокно обладает способностью поглощать битум, именно поэтому оно действует как надежный барьер, препятствующий вытеканию битума из асфальтобетонной смеси. Важной особенностью хризотилового волокна

является его поведение при сухом перемешивании в асфальтобетонной смеси. Вместо измельчения, волокно распушается, сохраняя высокую прочность на разрыв. Такое поведение хризотилового волокна приводит к значительному увеличению его армирующих свойств. В результате полученный щебеночно-матичный асфальтобетон отличается повышенными прочностными характеристиками, увеличивается его износостойкость и устойчивость к деформациям. Помимо хризотилового волокна, «Хризотоп» содержит специальное органическое связующее. Этот компонент взаимодействует с битумом, улучшая его свойства. Органическое связующее способствует повышению эластичности битума, увеличивая его сцепление с минеральными материалами асфальтобетонной смеси. В результате повышается прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия. Еще одно важное преимущество «Хризотопа» - высокая водостойкость. Добавка не взаимодействует с водой, что гарантирует сохранение ее свойств в условиях повышенной влажности и осадков. Благодаря этому асфальтобетонное покрытие станет более долговечным, способным выдерживать длительное насыщение водой без потери прочностных характеристик. Оптимальный расход «Хризотопа» составляет 3 кг на тонну асфальтобетонной смеси. Однако практика показывает, что его содержание может колебаться от 2 до 5 кг, в зависимости от конкретных условий и требований к покрытию. «Хризотоп» предлагает привлекательную цену – 44 руб./кг, что делает его конкурентоспособным по отношению к импортным аналогам. «Хризотоп» – это надежный и эффективный продукт отечественного производства, способный решить ряд актуальных задач в дорожном строительстве. Он обеспечивает повышение качества и долговечности асфальтобетонных покрытий, сокращая затраты на ремонт и обслуживание дорог [20].

«Стилобит» – это новейшая разработка в области дорожного строительства, представляющая собой усовершенствованную версию добавки «Хризотоп», которая уже более десяти лет успешно применяется для создания высококачественных дорожных покрытий. За это время с использованием «Хризотопа» было построено более 6000 километров дорог, что подтверждает его эффективность и надежность. Новое поколение добавки – «Стилобит» – сохраняет проверенную временем основу – хризотиловое волокно. Введение «Стилобита» в состав асфальтовой смеси в пропорции 0,3% от ее массы гарантирует существенное повышение долговечности дорожного покрытия. Хризотиловое волокно, являющееся основой «Стилобита», играет ключевую роль в улучшении эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Оно обладает высокой прочностью и устойчивостью к растяжению, что позволяет значительно увеличить усталостную прочность асфальтобетона и повысить его сопротивление к образованию трещин и разрушению. Благодаря своей высокой термостойкости (до 700 °С), «Стилобит» сохраняет свои свойства даже при воздействии высоких температур, что особенно актуально для жаркого климата и интенсивной эксплуатации. В отличие от органических материалов, «Стилобит» не подвержен гниению и не взаимодействует с водой. Это обеспечивает длительный срок хранения и использования добавки без потери эффективности. «Стилобит» впитывает избыточный битум, предотвращая его вытекание из смеси и обеспечивая микроармирование асфальтобетона. Эта особенность, наряду с высокой прочностью хризотилового волокна, значительно увеличивает срок службы дорожного покрытия, сокращая расходы на ремонт и обслуживание. Важно отметить, что использование «Стилобита» обеспечивает не только экономию средств на долгосрочную перспективу, но и экологическую безопасность. В отличие от некоторых импортных аналогов, которые используют целлюлозные волокна, «Стилобит» на основе минерального волокна повышает стойкость к пластическим деформациям дорожных покрытий на 7–10 %. Это означает, что «Стилобит» существенно замедляет образование колеи, повышая комфортность движения и безопасность на дороге [21].

Также следует отметить, что себестоимость щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавлением «Стилобита» на выходе с завода на 25–30 % ниже, чем у асфальтобетона с добавками на основе целлюлозного волокна. Это делает «Стилобит» привлекательным не только с точки зрения повышения качества дорожного покрытия, но и с точки зрения экономической эффективности.

В целом, «Стилобит» – это не просто добавка, а комплексное решение для повышения качества и долговечности дорожных покрытий. «Стилобит» – это шаг к созданию более долговечных, безопасных и экологичных дорог, способствующих развитию комфортного и устойчивого транспортного пространства [22].

Синтетические волокна, в отличие от целлюлозных, демонстрируют высокую термостойкость, что делает их незаменимыми в горячих технологиях асфальтирования. Так, полиэфирные волокна способны выдерживать температуру до 220 °С, что предотвращает их плавление при контакте с горячим битумом, используемым в ас-

фальтобетонных смесях. В то время как полиэтиленовые и полипропиленовые волокна имеют более низкую термостойкость и не подходят для горячих технологий, полиакриловые волокна, например, DOLANIT, обладают уникальными свойствами, которые выгодно отличают их от традиционных материалов.

DOLANIT, благодаря своей микроармирующей способности, придает асфальтобетону повышенную устойчивость к перепадам температур. Это достигается за счет создания микросетки из волокон, которая не только укрепляет структуру асфальта, но и позволяет ему лучше выдерживать динамические и статические нагрузки. Благодаря этому свойству, дороги, построенные с использованием DOLANIT, менее подвержены образованию колеи в летний период и более устойчивы к образованию трещин. Упрочняющее действие DOLANIT превосходит действие целлюлозы в 1,7 раза, что объясняется дисперсным армированием, т.е. равномерным распределением волокон по всему объему асфальтобетона.

Важно отметить, что волокна DOLANIT обладают рядом преимуществ, которые делают их отличным выбором для асфальтобетонных смесей:

– Легкость смешивания: DOLANIT легко смешивается с вяжущим материалом, не образуя комков и не препятствуя однородности смеси.

– Водонепроницаемость: волокна не боятся воздействия воды, сохраняя свои свойства даже при длительном контакте с влагой.

– Устойчивость к кислотам: DOLANIT устойчив к воздействию кислот, что делает его пригодным для применения в дорожном строительстве, где асфальтобетон может подвергаться воздействию различных агрессивных веществ.

– Нейтральное влияние на битум: волокна не оказывают негативного влияния на старение битума, сохраняя его свойства и увеличивая долговечность асфальтобетонного покрытия.

– Высокая термостойкость: DOLANIT, как и другие полиакриловые волокна, выдерживает высокие температуры, не деформируясь и не теряя своих свойств. Введение волокон в асфальтобетонные смеси оказывает на них комплексное воздействие

Волокна повышают механические свойства и жёсткость асфальтобетона, что способствует увеличению срока службы покрытия и снижению затрат на его ремонт. Оптимальное содержание волокон в асфальтобетонной смеси зависит от их качества и характеристик. Правильный выбор типа и концентрации волокон позволяет создавать асфальтобетонные покрытия, устойчивые к различным нагрузкам и воздействию окружающей среды. Таким образом, применение синтетических волокон в асфальтобетоне – это не только гарантия термостойкости, но и ключ к созданию долговечных и надежных дорожных покрытий, способных противостоять износу, перепадам температур и другим факторам, негативно влияющим на состояние дорог [23–27].

В исследовании [28] учёные сравнили полиэфирные и полипропиленовые волокна. Эксперименты показали, что нейлоновые и углеродные волокна улучшают характеристики асфальтобетона по сравнению с традиционным асфальтобетоном.

В исследовании [29] изучались свойства асфальтобетона, модифицированного диатомитовым стекловолокном. Исследования продемонстрировали, что стекловолокно повышает устойчивость диатомитового асфальтобетона к низкотемпературному растрескиванию.

В исследовании [30] авторы анализировали характеристики асфальтобетонной смеси и асфальтобетона с добавлением стекловолокна различной длины. Было выявлено, что чем длиннее фибра, тем лучше показатели изгиба и сопротивления образованию колеи. Длина волокна практически не влияет на модуль деформации. Длинное волокно передаёт напряжение лучше, чем короткое. Вязкоупругие характеристики асфальтобетона улучшились, а сопротивление усталости повысилось.

В сфере усиления асфальтобетонных смесей с использованием волокон проводятся многочисленные исследования [31]. Авторы в работе [32] провели серию экспериментов с добавлением различного количества керамического волокна в асфальтовяжущее. Результаты показали, что асфальтовяжущее обладает повышенной трещиностойкостью и температурной стабильностью по сравнению с обычным асфальтобетоном.

В исследовании [33] авторы сосредоточились на актуальной проблеме продления срока службы асфальтового покрытия и снижения колеи от воздействия транспорта при высоких температурах в Эфиопии. Эксперименты проводились с использованием щебёночно-мастичного асфальтобетона и добавления в него бамбуковых волокон, волокон сахарного тростника и отходов производства сахара. Добавки к асфальту применялись в диапазоне от 0,2 % до 0,5 % от общей массы образца. Оптимальное содержание обоих видов волокон, равное 0,3 %, указывает на то, что использование волокон бамбука и сахарного тростника в асфальтовой смеси повышает стойкость асфальтовых покрытий к внешним воздействиям. Оба вида волокон с концентрацией 0,3 % улучшают сопротивляемость асфальтобетона образованию колеи. В итоге, данное исследование

продемонстрировало, что на производительность и свойства асфальтобетона влияет тип волокна и его количество.

В аналогичном исследовании [34], проведённом ранее, изучались характеристики асфальтобетонной смеси с добавлением джутовых волокон. В этом эксперименте джутовые волокна использовались в качестве армирующего материала, и оценивалась их способность противостоять деформации. Результаты показали, что оптимальное количество вяжущего вещества увеличивается на 4–5 %, а стабильность асфальтобетона, модифицированного джутовыми волокнами, возрастает до 29 %. Однако, при концентрации джутовых волокон 0,5 % текучесть смеси снижается до 7 %. Добавление джутовых волокон существенно повышает устойчивость асфальтобетона к деформации. Учитывая важность устойчивого развития, этот подход способствует развитию новой концепции утилизации отходов волокон, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Автор работы приводит исследование влияния волокон кукурузных стеблей на свойства асфальтобетона. Волокно из кукурузных стеблей обладает хорошей однородностью в асфальтобетонном вяжущем, за ним следует базальтовое волокно и, наконец, лигниновое волокно. Добавление волокна из стеблей кукурузы может увеличить вязкость асфальтобетонного вяжущего. Данная особенность позволяет снизить его температурную чувствительность [35].

Органические волокнистые добавки – перспективное направление, изучаемое Н. П. Куцыной. Она фокусируется на переработке отходов производства, содержащих амидные, аминные и гидроксильные группы. Такие добавки способствуют увеличению адсорбции битума, что приводит к повышению физико-механических свойств и улучшению сдвигоустойчивости покрытия. Полимерные добавки также играют важную роль. К ним относятся: дроблёная резина, которая улучшает сцепление, снижает уровень шума и повышает износостойкость. Полипропилен повышает прочность и эластичность покрытия, увеличивает его морозостойкость. Нитронполиамид повышает трещиностойкость и водонепроницаемость, снижает уровень шума. Отходы полиэтиленовой упаковки повышают эластичность и морозостойкость. Полиэфирные волокна повышают прочность и износостойкость покрытия, улучшают сцепление [36].

Известно, что в качестве стабилизирующей добавки могут применять группу волокон [37]: 15–35 % волокон на основе сложного полиэфира, 35–55 % древесного волокна, 15–35 % ПАН-волокна и 15–35 % нейлонового волокна. Общее содержание армирующей добавки составляет 0,3–0,6 % от массы смеси.

Добавки, описанные в работах [28–37], представляют собой волокна природного происхождения и относятся к классу сложных органических полимеров, которые являются основным компонентом тканей большинства растений. Представленные волокнистые природные полимеры не растворимы в воде и спирте, но растворяются в слабых щелочных растворах. С химической точки зрения образцы состоят из углерода (в большей степени), водорода и кислорода, также могут включать минеральные компоненты (например, золу). Различие этих добавок заключается в разнообразии и степени сшивания между этими элементами. Молекулярные массы волокон природного происхождения превышают 10 000 ед., а количество мономеров-звеньев варьируются в зависимости от растительного источника.

При этом именно стабилизирующая добавка в ЩМАС, в первую очередь, вступает во взаимодействие с битумом. С точки зрения химического состава, битум включает: углерод (70–87 %), водород (8–12 %), серу (0,5–7 %), кислород (0,2–12 %), азот (0–2 %). То есть в составе битума присутствуют аналогичные волокнистым природным полимерам элементы, и основным является именного углерод. Битум, применяемый в составе асфальтобетонных смесей, должен обладать высокой температурой размягчения и низкой температурой хрупкости, что достигается путем перевода битума из объемного состояния в пленочное. Чем выше структурирующая способность компонентов асфальтобетона по отношению к битуму, тем более высокой сдвигоустойчивостью и трещиностойкостью будет обладать асфальтобетон, в том числе щебеночно-мастичный. Существует ряд исследований, где в качестве твердых добавок для битума использовали технический углерод, являющийся отходом от утилизации шин [38–39].

Авторы отмечают, что углерод в составе добавок способствует образованию пленки с высокой степенью структурирования за счет физико-химических процессов на поверхности раздела фаз. Однако сложность модифицирования битумов углеродными волокнами заключается в том, что повышенное содержание углерода в составе битума способствует увеличению его вязкости и склонности к старению, что отрицательно сказывается на эксплуатационных качествах, в том числе понижается эластичность и повышается хрупкость вяжущего.

На практике производство углеродных волокон основано на применении двух видов сырья:

полимерных материалах таких как гидратцеллюлоза, полиакрилонитрил, а также низкомолекулярных органических материалах, в состав которых входит высокое содержание углерода (каменноугольные и нефтяные пеки, лигнин). Бумажно-целлюлозная промышленность является основным источником лигнина, и в настоящее время целлюлозно-бумажные предприятия ежегодно производят примерно 50–70 миллионов тонн лигнина, в основном, крафт-лигнина по всему миру. Кроме того, при производстве биотоплива второго поколения также образуется органический растворитель лигнин, в основном гидролизный лигнин. Около 98 % лигнина, производимого в бумажной и целлюлозной промышленности, используется для отопления или выработки электроэнергии, что имеет низкую стоимость, при этом менее 2 % лигнина используется в более ценных областях, в основном, в составах диспергаторов, связующих и поверхностно-активных веществ.

Поскольку химическая структура лигнина аналогична структуре асфальтобетона и поскольку лигнин представляет собой углеводородный материал на основе углерода, в последние годы все больше и больше людей изучают применение лигнина в асфальтобетонных покрытиях. Его структурной единицей является аморфное полимерное сетчатое соединение фенилпропана. Наиболее распространенным применением лигнина в дорожных покрытиях было добавление гидролизного лигнина в качестве модификатора асфальтобетона, который может значительно улучшить стойкость композита к старению и оказывает различное влияние на высокотемпературные реологические свойства, устойчивость к растрескиванию при низких температурах и усталостную стойкость асфальтобетона [40].

Однако при введении в состав битума гидролизного лигнина наблюдается низкая адгезия между материалами, что приводит к расслоению смеси этих двух материалов, что в конечном итоге снижает водостойкость асфальтобетона. Поэтому в последние годы исследователи сосредоточились на извлечении и использовании лигнина для превращения его в ароматические базовые химикаты и химические продукты для более эффективного использования, в том числе, и в асфальтобетонных смесях.

Лигнин относится к лиофобным веществам, плохо набухающим в нефтяных маслах, состоящих из смеси углеводородов: парафиновых, нафтеновых и др. Для создания взаимосвязанной системы «битум-лигнин», требуется деструктурировать последний, что в последующем позволит получить коагуляционный каркас за счет большого числа простых углеводородных компонентов. Известно, что именно размер частиц определяет эффективность используемых добавок. Перевод модифицирующих добавок до микрочастиц с последующим расщеплением до элементарных частиц (молекул) позволяет получить качественно новые эффективные материалы [41–42].

Частицы лигнина имеют прочные фазовые контакты, поэтому не способны к разрушению до молекулярного состояния под действием внешних механических усилий (помол), за исключением химического воздействия. В частности, известен процесс гидрогенолиза, заключающийся в деструктивном гидрировании лигнина при действии на него водорода под давлением при повышенной температуре в присутствии катализаторов. При этом выделяют низкомолекулярные производные пропилциклогексана. Однако исследований по влиянию полученного материала на свойства битума и асфальтобетона не представлены [43].

В последнее время наблюдается значительный рост числа исследований, посвящённых добавлению новых волокнистых компонентов в асфальтобетонные смеси. Это связано с необходимостью усиления армирования материала и повышения прочности асфальтового покрытия для обеспечения устойчивости к различным нагрузкам. Направление активно развивается, и результаты испытаний служат основой для дальнейших поисков новых добавок, которые обеспечат асфальтовому покрытию новые характеристики [44].

Основные виды стабилизирующих добавок представлены в таблице 1. В таблице 2 указан средний расход, а также средняя стоимость стабилизирующих добавок.

Среди добавок, отличающихся минимальным расходом, можно выделить Topcel, Хризотоп, Стилобит и Viatop premium. При этом Хризотоп и Стилобит обладают преимуществом в виде более низкой стоимости за килограмм. По результатам расчета средней стоимости добавки на тонну смеси, Хризотоп и Стилобит остаются лидерами по доступности. Наиболее невыгодным с экономической точки зрения вариантом являются добавки Topcel и Viatop 66, стоимость которых в 1,6 раза выше стоимости стабилизатора.

Долгое время лидерами на рынке стабилизирующих добавок являлись иностранные компании, преимущественно, немецкие. Высокая стоимость иностранных добавок заставила российских ученых разрабатывать свой продукт.

Таблица 1

Классификация стабилизирующих добавок

<table>
<tr><th>№ п/п</th><th>Вид добавки по веществен ному составу</th><th>Вид добавки по физическому состоянию и товарной форме</th><th colspan="3">Вид добавки по наименованию основных составляющих веществ и химических соединений и активных компонентов</th><th>Коммерческое название добавки</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td colspan="3">4</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">Минеральные добавки</td><td rowspan="4">волокнистые</td><td rowspan="2">хризоти -ласбест</td><td colspan="2">свободные волокна</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">гранулы</td><td>ХРИЗОТОП</td></tr>
<tr><td colspan="3">стекловолокно</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="3">базальтовые волокна</td><td>ВОКСИЛ 100</td></tr>
<tr><td>порошковые</td><td colspan="3">волластонит</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="15">3</td><td rowspan="15">Органические добавки</td><td rowspan="9">полимерные волокна</td><td rowspan="5">целлюлозные</td><td>свободные волокна</td><td>Без вяжущего</td><td>TECHNOCEL 1004</td></tr>
<tr><td rowspan="3">гранулы</td><td>Без вяжущего</td><td>СД-1; ITERFIBRA;</td></tr>
<tr><td>Обработанные битумом</td><td>VIATOP 66; VIATOP Preminum; СД3; ANTROCEL; ГАСЦЕЛ</td></tr>
<tr><td>Обработанные воском</td><td>СД-2; TOPCEL</td></tr>
<tr><td rowspan="5">синтетические</td><td colspan="2">полиамидные</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">полиэфирные</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">акриловое волокно</td><td>DOLANIT</td></tr>
<tr><td colspan="2">поливинилхлоридные</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">полиолефиновые</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="3">полимерные гранулы</td><td colspan="3">полиолефиновый полимерный носитель</td><td>РТЭП</td></tr>
<tr><td colspan="3">сополимер этилена с винилацетатом, полиэтилен</td><td>СЕВИПАВ</td></tr>
<tr><td colspan="3">пропилен-бутилен-этилен</td><td>ВЕСТОПЛАСТ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">порошковые</td><td rowspan="2">на основе дробленой резины</td><td colspan="2">порошковые</td><td>УНИРЕМ-001</td></tr>
<tr><td colspan="2">гранулы</td><td>УНИРЕМ-002</td></tr>
</table>

Таблица 2

Средняя стоимость добавки, необходимой для приготовления тонны смеси ЩМА

Стабилизирующая добавка	Средний расход, кг/т	Средняя стоимость (на 25.04.2024), руб/кг	Стоимость на тонну ЩМАС, руб/т
Viatop 66	4–4,5	54	216–243
Viatop premium	3–3,5	47	141–164,5
Topcel	2,8–3,2	71,50	200,2–228,8
Хризотоп	2–5 (оптимальный 3)	45	90–225 (135)
Стилобит	2–5 (оптимальный 3)	43,5	87–217,5 (130,5)
СД-3ГБЦ	3-4	47	141–188

Сегодня рынок добавок значительно увеличился. Причем, российские добавки отвечают всем требованиям нормативной документации и по характеристикам не уступают иностранным аналогам. Более того, они стоят дешевле, что делает их использование экономически выгодным.

Применение отечественных добавок для производства щебеночно-мастичного асфальтобетона является важным шагом к снижению стоимости и повышению доступности этого материала. Благодаря этому, строительство дорог становится более экономичным, а значит, доступным для большего количества проектов. Использование отечественных добавок уже успешно применяется в различных регионах России и соседних стран. Крупные дорожные проекты, такие как фе-

деральные автодороги под контролем ФДА Росавтодор, трассы, управляемые Государственной компанией Автодор, олимпийская инфраструктура в Сочи, а также проекты в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, демонстрируют эффективность отечественных разработок [45].

Выводы. Наиболее распространенными добавками для ЩМА являются стабилизирующие, которые, как правило, производятся из целлюлозы. Они представлены в виде фибриллированных волокон или гранул, способствуя повышению прочности и долговечности асфальтобетонного покрытия. Среди наиболее известных целлюлозных добавок можно выделить: Viatop – известная марка, представленная в различных модификациях, применяется для улучшения качества асфальтобетона. Technocel отличается высокой эффективностью и широко используется в дорожном строительстве. Topcel – импортная добавка, обладающая высокими характеристиками, но отличающаяся высокой стоимостью. Хризотоп, СД 3 – ГБЦ, Стилобит – российский продукт, характеризующийся оптимальным соотношением цены и качества. Помимо целлюлозных волокон, в дорожном строительстве применяются и другие виды стабилизирующих добавок. Например, Dolanit – добавка на основе акриловых волокон, эффективно улучшающая прочностные характеристики асфальтобетона.

Анализ средней стоимости добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона показывает, что российские продукты Хризотоп и Стилобит являются оптимальным вариантом с точки зрения соотношения цены и качества. Российские добавки, как правило, дешевле импортных аналогов. Хризотоп и Стилобит отличаются низким расходом, что также снижает общую стоимость производства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Анализ литературных данных показывает, что применение органических волокнистых материалов в качестве стабилизирующих добавок для ЩМА является перспективным направлением исследований, а количество экспериментальных работ с их применением значительно увеличилось за последнее время. При этом, стоит отметить ограниченное количество исследований по применению в качестве стабилизатора таких отходов промышленности как лигнин, представляющего угрозу экологической обстановки в регионах, на территории которых находятся целлюлозно-бумажные комбинаты. Однако во многих странах проводятся исследования по использованию таких отходов как бамбуковые волокна, волокна сахарного тростника и отходы производства сахара, количество которых также наносит ущерб окружающей среде. Развитие и внедрение новых отечественных добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе таких материалов как лигнин будет способствовать улучшению качества дорожного покрытия, снижению его стоимости, что позволит построить еще более эффективную и безопасную дорожную сеть, а также сохранить окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вдовин Е.А., Буланов П.Е., Журавлев И.В. Влияние целлюлозных стабилизирующих добавок на физико-механические характеристики битума // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 3(61). С. 103–109. DOI: 10.52409/20731523_2022_3_103.

2. Дедуренко В.А., Колосков Р.С. Влияние состава асфальтобетона на процессы колееобразования автомобильных дорог // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей 18-23 февраля 2022 года. 2022. С. 28–30.

3. Ядыкина В.В. Влияние энергосберегающих добавок на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона на примере Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №. 6. С. 149–153.

4. Степанец В.Г. Применение щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при строительстве покрытий в Алтайском крае // Молодой учёный. 2016. Т. 12. С. 226–230.

5. Ниязов М.К., Саканов К.Т. Щебеночно-мастичный асфальтобетон в дорожном строительстве // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Экибастуз, 29 мая 2020 года. 2020. С. 550–554.

6. Дормидонтова Т.В., Лосев Д.А., Андреев Ф.С. Преимущества использования щебеночно-мастичного асфальтобетона при капитальном ремонте автомобильных дорог // Тенденции развития науки и образования. 2021. №. 74-3. С. 47–50. DOI: 10.18411/lj-06-2021-93.

7. Мясникова А.А. Методы регулирования свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2023. №37. С. 26–32.

8. Ярцев В.П., Полежаева Е.С. Повышение технологических и эксплуатационных характеристик строительного битума // Кровельные и изоляционные материалы. 2014. № 6. С. 14–15.

9. Сапов А.В., Зимнухов А.Н. Особенности состава и структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона // Стабилизирующие добавки. 2010. Т. 124. С. 144–148.

10.Эфа А.К., Жураускас А.В., Акулов А.П. Щебеночно-мастичный асфальтобетон теоретические основы, практика применения // Строительные материалы. 2003. №1. С. 22–23.

11.Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества// Современные наукоемкие технологии-2019. № 11-2. С. 170–279.

12.Герасимов А.И. Устойчивость к колееобразованию асфальтобетонных покрытий // Студент и наука. 2020. №1. С. 653–656.

13.Русаков М.Н., Исмаилов А.М. Стирол-бутадиен-стирольные полимеры для дорожного строительства в Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. №87. С. 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3

14.Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года. 2021. С. 255–257.

15.Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А. Конструктивно-технологическое совершенствование агрегатов для гранулирования порошкообразных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 100–102.

16.Ядыкина В.В. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2013. №. 6. С. 7–11.

17.Стабилизирующие добавки в ЩМА. Виды и эффективность // Сумма проектов.: URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=239 (дата обращения: 09.04.2024).

18.Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №. 6. С. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3.

19.Добавки Viatop // Сумма проектов. URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=297 (дата обращения: 09.04.2024).

20.Стабилизатор Хризотоп // Сумма проектов. URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=305 (дата обращения: 09.04.2024).

21.Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. №1 (1070). С. 94–97.

22.Стабилизирующая добавка Стилобит // Сумма проектов. URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=308 (дата обращения: 09.04.2024).

23.Псюрник В.А. Роль волокон в формировании физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2005. №. 30. С. 1–4.

24.Смирнов Д.С., Ягунд Э.М., Броднева В.Е. Оценка воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. №. 4 (54). С. 80–87.

25.Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T.N., Part M.D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers // Composites Part B – Engineering. 2018. Pp. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.

26.Awanti S.S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia // Social and Behavioral Sciences. 2017. Vol. 104. Pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.

27.Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari M.F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture // Construction and Building Materials. 2020. Pp. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.1175.

28.Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture // Materials & Design. 2015. Vol. 66. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033.

29.Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory Investigation on the Brucite Fiber Reinforced Asphalt Binder and Asphalt Concrete // Construction and Building Materials 2015. Vol. 83. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089.

30.Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Based on Micromechanical Modeling // Advances in Materials Science and Engineering. 2017. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718.

31.Arabani M., Shabani A. Evaluation of the Ceramic Fiber Modified Asphalt Binder // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 205. Pp. 377–386. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.037.

32.Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng D. Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber // Construction and Building Materials.

2019. Vol. 212. Pp. 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329.

33.Geremew A., Jemal A. The comparative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete production // Heliyon. 2020. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842.

34.Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A. The effect of using jute fiber on deformation resistance of asphalt concrete. 2021. Pp. 1–6.

35.Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O. Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete Using Synthetic Fibers // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 178. Pp. 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070.

36.Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №. 6. С. 25-34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3.

37.Комбинированное волокно, повышающее трещиностойкость и трещиностойкость битумных покрытий : пат. CN101798169A Китай. № 201010125128 ; заявл. 16.03.10 ; опубл. 29.08.12. 4 с.

38.Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Использование технического углерода в качестве добавки к дорожным битумам // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №2. 275–278.

39.Соколов Ю.В., Галдина В.Д., Цеханович М.С., Жолос А.И. Исследование структуры и свойств концентрированных битумных мастик на основе битумов и технического углерода // Строительные материалы. 2005. №10. С. 10–11.

40.Hui Y., Yiran W., Junfu L., Mei X., Pengrui M., Jie Ji, Zhanping Y. Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey // Sec. Structural Materials. 2021 Vol. 8. 803524 DOI: 10.3389/fmats.2021.803524.

41.Кожитов Л.В., Запороцкова И.В., В Козлов.В. Перспективные наноматериалы на основе углерода // Вестник ВолГУ. 2009. С. 63–85.

42.Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.

43.Смирнова А.И., Антонова В.С. Прикладная химия природных соединений: учеб. пособие. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. 94 с.

44.Игнатьев А.А. Добавки в асфальтобетон. Обзор литературы // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. №. 1 (63). С. 14–30. DOI: 10.52409/20731523_2023_1_14.

45.Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №. 6. С. 25-34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3.

Информация об авторах

Траутваин Анна Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: trautvain@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сырых Алина Александровна, студент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: syryhalina@gmail.com Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.05.2024 г.

© Траутваин А.И., Сырых А.А. 2025

Trautvain A.I., *Syryh A.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail:syryhalina@gmail.com*

ANALYSIS OF THE MARKET OF STABILIZING ADDITIVES FOR CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE. THEORETICAL INFORMATION ON THE APPLICATION OF ORGANIC FIBERS FOR BITUMEN STABILIZATION

Abstract. *The transition to the use of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures in the upper layers of road clothes is a global trend and leads to increased crack resistance, shear resistance, fatigue resistance, frost resistance, as well as low abrasion resistance, reduced noise and increased roughness of the coating compared with road clothes having a coating based on traditional asphalt concrete. The production of crushed stone-mastic asphalt concrete with high performance and functional characteristics depends on the quality of the stabilizing additive used. Modern specialists are constantly working to improve and strengthen the road*

surface and, in particular, the upper layers of the road surface, to make them more resistant to external influences and conditions of modern and rapidly changing traffic flow, while paying attention to various additives that are designed to strengthen and bind the components of the road surface more firmly. The market of stabilizing additives is mainly represented by foreign manufacturers, and the use of domestic analogues in the composition of crushed stone-mastic asphalt concrete leads to a mixture of unsatisfactory quality. The paper considers a wide range of existing stabilizing additives, their component composition, as well as their advantages and disadvantages. The main properties of the resulting crushed stone-mastic asphalt concrete based on the most common types of additives of both imported and domestic production are considered. Based on the data obtained, theoretical prerequisites have been made for the development and laboratory studies of a new stabilizing additive using natural polymer fiber based on cellulose production waste.

Keywords: *crushed stone-mastic asphalt concrete, runoff, shear stability, stabilizing additive, structure formation, modification, cellulose fibers, polymer fibers, organic fiber additives, lignin.*

REFERENCES

1. Vdovin E.A., Bulanov P.E., Zhuravlev I.V. Influence of cellulose stabilizing additives on the physico-mechanical characteristics of bitumen [Vliyanie celluloznyh stabiliziryushih dobavok na phiziko-mehanicheskie harakteristiki bituma]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo architecturno-stroitelnogo universiteta. 2022. No. 3(61). Pp. 103–109. DOI: 10.52409/20731523_2022_3_103. (rus)

2. Dedurenko V.A., Koloskov R.S. The influence of asphalt concrete composition on the processes of highway rutting [Vliyanie sostava asvaltobetona na proccesy koleeobrazovaniya avtomobilnyh dorog]. Actual problems of construction, housing and communal services and technosphere safety: Materials of the IX All-Russian (with international participation) scientific and technical conference of young researchers on February 18-23, 2022. 2022. Pp. 28–30. (rus)

3. Yadykina V.V. The influence of energy-saving additives on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete on the example of Evotherm, Azol 1007 and Adgezol 3-td [Vliyaniye energosberegayushchikh dobavok na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona na primere Evotherm. Azol 1007 i Adgezol 3-td]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 6. Pp. 149–153. (rus)

4. Stepanets V.G. The use of crushed stone-mastic asphalt concrete mixture in the construction of coatings in the Altai Territory [Primeneniye shchebenochno-mastichnoy asfaltobetonnoy smesi pri stroitelstve pokrytiy v Altayskom kraye]. Young Scientist. 2016. Vol. 12. Pp. 226–230. (rus)

5. Niyazov M.K., Sakanov K.T. Crushed stone-mastic asphalt concrete in road construction [Shchebenochno-mastichnyy asfaltobeton v dorozhnom stroitelstve]. Improving the quality of education, modern innovations in science and production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ekibastuz, May 29, 2020. 2020. Pp. 550–554. (rus)

6. Dormidontova T.V., Losev D.A., Andreev F.S. Advantages of using crushed stone-mastic asphalt concrete during major repairs of highways [Preimushchestva ispolzovaniya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona pri kapitalnom remonte avtomobilnykh dorog]. Trends in the development of science and education. 2021. No. 74-3. Pp. 47–50. DOI: 10.18411/lj-06-2021-93. (rus)

7. Myasnikova A.A. Methods of regulating the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Metody regulirovaniya svoystv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Architecture, urban planning and design. 2023. No. 37. Pp. 26–32. (rus)

8. Yartsev V.P., Polezhaeva E.S. Improving the technological and operational characteristics of building bitumen [Povysheniye tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh kharakteristik stroitelnogo bituma]. Roofing and insulating materials. 2014. No. 6. Pp. 14–15. (rus)

9. Sapov A.V., Zimnukhov A.N. Features of the composition and structure of crushed stone-mastic asphalt concrete [Osobennosti sostava i struktury shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Stabilizing additives. 2010. Vol. 124. Pp. 144–148. (rus)

10. Efa A.K., Jurauskas A.V., Akulov A.P. Crushed stone mastic asphalt concrete theoretical foundations, application practice [Shchebenochno-mastichnyy asfaltobeton teoreticheskiye osnovy. praktika primeneniya]. Building materials. 2003. No.1. Pp. 22–23. (rus)

11. Ismailov A.M. Optimization and qualimetric model of the design process of asphalt concrete mixtures of the required quality [Optimizatsionno-kvalimetricheskaya model protsessa proyektirovaniya asfaltobetonnykh smesey trebuyemogo kachestva]. Modern high-tech technologies-2019. No. 11-2. Pp. 170–279. (rus)

12. Gerasimov A.I. Resistance to rutting of asphalt concrete coatings [Ustoychivost k koleyeobrazovaniyu asfaltobetonnykh pokrytiy]. Student and science. 2020. No. 1. Pp. 653–656. (rus)

13. Rusakov M.N., Ismailov A.M. Styrene-butadiene-styrene polymers for road construction in the Russian Federation [Stirol-butadiyen-stirolnyye polimery dlya dorozhnogo stroitelstva v Rossiyskoy

Federatsii]. Construction of unique buildings and structures. 2020. No. 87. Pp. 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3 (rus)

14. Chernova N.A., Biryukov O.R., Yermoshin N.A. The effect of stabilizing additives from cellulose on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Vliyaniye stabiliziruyushchikh dobavok iz tsellyulozy na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. ISI Science Week : Proceedings of the All-Russian conference in 3 parts, St. Petersburg, April 26-30, 2021. 2021. Pp. 255–257. (rus)

15. Ilyina T.N., Sevostyanov M.V., Shkarpetkin E.A. Constructive and technological improvement of aggregates for granulating powdery materials [Konstruktivno-tekhnologicheskoye sovershenstvovaniye agregatov dlya granulirovaniya poroshkoobraznykh materialov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No.2. Pp. 100–102. (rus)

16. Yadykina V.V. Influence of stabilizing additives from pulp and paper industry waste on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Vliyaniye stabiliziruyushchikh dobavok iz otkhodov tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 7–11. (rus)

17. Stabilizing additives in the cheek. Types and effectiveness [Stabiliziruyushchiye dobavki v ShchMA. Vidy i effektivnost]. Sum of projects : URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=239 (date of application: 04/09/2024).

18. Solovyova A. A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3. (rus)

19. Viatop supplements [Dobavki Viatop]. Sum of projects. URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=297 (date of application: 04/09/2024). (rus)

20. Stabilizer Chrysotope [Stabilizator Khrizotop]. Sum of projects. URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=305 (date of reference: 04/09/2024). (rus)

21. Yermoshin N.A., Ismailov A.M. Durability and quality [Dolgovechnost i kachestvo]. Highways. 2021. No. 1 (1070). Pp. 94–97. (rus)

22. Stabilizing additive Stylobite [Stabiliziruyushchaya dobavka Stilobit]. Sum of projects : URL: https://sumpro.ru/articles/article?id=308 (date of reference: 04/09/2024). (rus)

23. Psyurnik V. A. The role of fibers in the formation of physical and mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Rol volokon v formirovanii fiziko-mekhanicheskikh svoystv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. 2005. No. 30. Pp. 1–4. (ua)

24. Smirnov D.S., Yagund E.M., Brodneva V.E. Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Otsenka vozdeystviya tsellyuloznykh primesey na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. No. 4 (54). Pp. 80–87. (rus)

25. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T. N., Part M. D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers. Composites Part B – Engineering. 2018. Pp. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.

26.Awanti S.S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia. Social and Behavioral Sciences. 2017. Vol. 104. Pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.

27.Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari M. F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture. Construction and Building Materials. 2020. Pp. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.1175.

28.Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. Materials & Design. 2015. Vol. 66. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/j .matdes.2014.10.033.

29.Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory Investigation on the Bru-cite Fiber Reinforced Asphalt Binder and As-phalt Concrete. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 83. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089.

30.Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Con-crete Based on Micromechanical Modeling. Ad-vances in Materials Science and Engineering. 2017. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718.

31.Arabani M., Shabani A. Evalua-tion of the Ceramic Fiber Modified Asphalt Binder. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 205. Pp. 377–386. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.037.

32.Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng D. Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 212. Pp. 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329.

33.Geremew A., Jemal A. The com-parative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete

production. Heliyon. 2020. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842.

34.Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A. The effect of using jute fiber on de-formation resistance of asphalt concrete. 2021. Pp. 1–6.

35.Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O. Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete Using Synthetic Fibers. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 178. Pp. 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070.

36. Solovyova A. A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3 (rus)

37. Combined fiber that increases crack resistance and crack resistance of bitumen coatings : pat. CN101798169A China. No. 201010125128 ; application. 03/16/10 ; publ. 08/29/12. 4 p.

38. Abdullin A.I., Yemelyanycheva E.A. The use of carbon black as an additive to road bitumen [Ispolzovaniye tekhnicheskogo ugleroda v kachestve dobavki k dorozhnym bitumam]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2014. No. 2. 275–278. (rus)

39. Sokolov Yu.V., Galdina V.D., Tsekhanovich M.S., Zholos A.I. Investigation of the structure and properties of concentrated bitumen mastics based on bitumen and carbon black [Issledovaniye struktury i svoystv kontsentrirovannykh bitumnykh mastik na osnove bitumov i tekhnicheskogo ugleroda]. Building Materials. 2005. No.10. Pp. 10–11. (rus)

40.Hui Y., Yiran W., Junfu L., Mei X., Pengrui M., Jie Ji, Zhanping Y. Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey. Sec. Structural Materials. 2021 Vol. 8. 803524. DOI: 10.3389/fmats.2021.803524.

41. Kozhitov L.V., Zaporotskova I.V., V. Kozlov.B. Promising carbon-based nanomaterials [Perspektivnyye nanomaterialy na osnove ugleroda]. Bulletin of the Volga. 2009. Series 10. Iss. 4. Pp. 63–85. (rus)

42. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Chulkova I.L. The law of affinity of structures in materials science [Zakon srodstva struktur v materialovedenii]. Fundamental research. 2014. No. 3. Part 2. Pp. 267–271.

43. Smirnova A.I., Antonova V.S. Applied chemistry of natural compounds: textbook. handbook. St. Petersburg: HSE SPbGUPTD, 2020. 94 p.

44.Ignatiev A.A. Additives in asphalt concrete. Literature review [Dobavki v asfaltobeton. Obzor literatury]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. No. 1 (63). Pp. 14–30. DOI: 10.52409/20731523_2023_1_14. (rus)

45. Solovyova A.A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3 (rus)

Information about the authors

Trautvain, Anna I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile and Railways. E-mail: trautvain@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Syryh, Alina A. Student of the Department of Automobile and Railways. E-mail: syryhalina@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.05.2024

Для цитирования:

Траутваин А.И., Сырых А.А. Анализ рынка стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Теоретические предпосылки применения органических волокон для стабилизации битума // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 82–99. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99

For citation:

Trautvain A.I., Syryh A.A. Analysis of the market of stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete. Theoretical information on the application of organic fibers for bitumen stabilization. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 82–99. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99