

УДК 625.855.3

А. М. САТКОЕВА

ГАОУ ВПО «Юго-Осетинский государственный университет имени А. А. Тибилова»

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ СТРУКТУРЫ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Аннотация. Рассмотрены составы и технологии производства, укладки и уплотнения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Показано, что эффективным способом повышения качества и долговечности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей является комплексная модификация органического вяжущего вещества комплексной добавкой, состоящей из бутадиен-метилстирольного каучука и технической серы, а также ашпретирование поверхности минеральных материалов щебеночно-мастичного асфальтобетона латексом дивинил-стирольного каучука Butonal NS198. Сформулированы теоретико-методологические положения формирования структуры комплексно-модифицированной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, характеризующейся широким температурным интервалом уплотняемости. Это достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно при проектировании долговечных ЩМА необходимо создать устойчивый каркас, деформационно-релаксирующее с высоким адгезионно-когезионными свойствами асфальтополимерное вяжущее вещество, а объем остаточных пор в ЩМА должен быть минимальными.

Ключевые слова: комплексно-модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон, состав, структура, свойства.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В процессе эксплуатации автомобильной дороги на её покрытие действует ряд факторов, которые влияют в целом на состояние дороги.

В технической литературе приводится ряд технологий и рекомендаций по улучшению устойчивости асфальтобетонных покрытий в процессе эксплуатации:

– создание и использование композиционных вяжущих (в составе асфальтобетонных смесей высоковязких битумов, модифицирование резиновой крошкой, полимерами, микроармирующими материалами и др.) [1];

– изменение гранулометрического состава (создание каркасной структуры, содержание щебня более 50 % и замена полностью или частично природного песка дробленным) [2–4];

– повышение адгезии связующего с минеральным материалом (применение поверхностно-активных добавок (ПАВ), активированных минеральных порошков (АМП), использование вспененных битумов и др.).

ЩМА представляет собой самостоятельную разновидность асфальтобетонов, одновременно обеспечивающую водонепроницаемость, сдвигустойчивость и шероховатость устраиваемого покрытия. В отличие от асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-97 статус на 2021 г. ЩМА характеризуется повышенным содержанием щебня и битума (до 80 и 7,5 % по массе соответственно) с остаточной пористостью до 1 % [2–4]. Для удержания на поверхности щебня такого количества свободного битума, в особенности на стадии производства, складирования и транспортирования смеси, необходимо обязательное присутствие в ЩМА-смесьях стабилизирующих волокнистых добавок. Процесс приготовления и укладки ЩМА-смесей технологичен и не требует специального оборудования, за исключением агрегата подачи и дозирования добавки. Оригинальный компонентный состав ЩМА-смесей позволяет

укладывать материал механизированным способом тонкими слоями, снижая удельный расход смеси на квадратный метр покрытия. Поэтому в сравнении с традиционными асфальтобетонами ЩМА становится рентабельным, хотя и готовится из более дорогого исходного сырья. Безусловным достоинством ЩМА к тому же является низкий уровень расходов по ремонту и содержанию покрытия [5].

В России первые опытные участки с покрытиями из ЩМА появились в 2000 году на дорогах М-4 «Дон», М-1 «Беларусь». В 2000 году эксперимент был продолжен МКАД – Кашира, МКАД – Железнодорожный – Ликино, в г. Ханты-Мансийск, на мосту через реку Обь в г. Новосибирске, на стоянке воздушных судов в аэропорту Домодедово. В это же время строятся опытные участки в Белоруссии, Украине и других странах СНГ [5].

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – это материал, разработанный специально для устройства верхних слоев покрытия на дорогах с высокой интенсивностью движения транспорта [5].

Специфика составов и структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона предусматривает обязательное присутствие в качестве основных структурных составляющих прочного щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен, «объемного» битума и небольшого количества стабилизирующей (обычно волокнистой) добавки для дисперсного армирования вяжущего. Под «объемным» битумом принято понимать ту часть вяжущего в смеси, которая не подвержена структурирующему влиянию дальнедействующих поверхностных сил, действующих на границе раздела фаз. По толщине битумной прослойки, разделяющей минеральные зерна смеси, провести четкую границу между объемным инструктированным битумом практически невозможно. Однако различие между ними существует, так как основное назначение стабилизирующей добавки – удерживать более толстые пленки горячего битумного вяжущего на поверхности щебня и предотвращать его отслоение и вытекание из смеси при высоких технологических температурах приготовления, транспортирования и укладки [6].

Минеральный остов ЩМАС подбирают по принципу прерывистой гранулометрии. В состав ЩМАС в зависимости от проектируемого типа смеси (ЩМА – 10, ЩМА – 15, ЩМА – 20), в отличие от традиционных асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-97, содержащих от 30 до 65 % щебня, входят 60...80 % щебня, количество дробленого материала в составе щебня и песка достигает 95 % и битумная мастика [5, 7].

Принципиальная разница между ЩМА и обычным асфальтобетоном заключается в его жесткой каркасной структуре, которая обеспечивает передачу нагрузки с поверхности в нижележащие слои через непосредственно контактирующих друг с другом отдельных крупных частиц каменного материала, благодаря чему слой щебеночно-мастичного асфальтобетона подвергается лишь деформациям как в поперечном, так и в продольном направлениях. Отдельные щебенки опираются друг на друга, при этом вся нагрузка от катков (при уплотнении слоя) и от транспорта (при эксплуатации покрытия) воспринимается отдельными зернами щебня. Сдвигоустойчивость слоя возрастает, но одновременно с этим возрастают и внутренние напряжения в слое, приводящие к разрушению щебня.

В ЩМА основную структуру составляет крупный щебень, а мелкий служит совместно с вяжущим только для создания мастики, плотно заполняющей межзерновое пространство в щебеночном каркасе. Отсутствие зерен природного песка приводит к тому, что под действием внешних нагрузок минеральные зерна не перемещаются, заполняя поровое пространство, как это происходит в слое из асфальтобетона типа А, а разрушаются [2].

Для лучшего уплотнения и снижения вероятности разрушения зерен щебня на каждом минеральном зерне необходимо создать толстые пленки ориентированного битума. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость применения в смеси большого количества вяжущего (от 6,5 до 7,5 %) [4]. Чтобы удержать такое количество горячего битума на поверхности щебня, необходимо обязательное присутствие в смеси специальных стабилизирующих добавок типа волокон [4].

Битум, минеральный порошок, мелкие зерна дробленого песка и стабилизирующая добавка при производстве смесей образуют битумную мастику. Количество мастики подбирается, исходя из пористости минерального остова. Остаточная пористость ЩМА в покрытии (объем незаполненного пространства) не должна превышать 1...4 %.

В качестве стабилизирующих добавок рекомендуется, в первую очередь, однородное короткофиберное целлюлозное волокно, в составе которого не менее 50 % фибр длиной от 0,5 до 1,9 мм. Пригодность других, не апробированных волокон (акриловых, стеклянных, резинового порошка, полимеров и пр.) следует обосновывать испытаниями по ГОСТ 12801-98 [4].

Отличительной особенностью ЩМА является присутствие в его составе объемного битума. Это позволило выдвинуть гипотезу, что возможно его перерождение и проявление эффекта «самозалечивания» дефектов. Для подтверждения гипотезы был выполнен эксперимент, данные которого указывают на возможность доуплотнения покрытия из ЩМА и позволяют обосновать содержание вяжущего в проектируемом составе из условия «самозалечивания» дефектов и пор [6].

Для достижения рекомендуемых нормативных пределов остаточной пористости слоя его необходимо уплотнять гладковальцевым катком без применения вибрации.

Снижение пористости материала вследствие увеличения содержания битума может быть достигнуто лишь в очень малых пределах. Для корректировки пористости в первую очередь изменяют соотношение минеральных материалов, в минеральном остове, затем содержание минерального порошка и лишь после этого варьируют содержанием органического вяжущего.

Для формирования оптимальной структуры необходимо обеспечить удобоукладываемость и уплотняемость ЩМАС. В настоящее время технологические свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей не определяют. Это вызывает значительное количество брака при строительстве асфальтобетонных слоев. Отклонение в составе смеси вызывает расслоение, выступание мастики на поверхность слоя, дробление щебня под выглаживающей плитой укладчика, налипание смеси на вальцы катка при уплотнении. Причины дефектов: в отклонении от рекомендуемой технологии (температура смеси, масса катка, число проходов по следу); недостаточном или избыточном количестве мастики (неверное соотношение между стабилизирующей добавкой, минеральным порошком и битумом); в составе минеральной части, избытке пыли и др. факторах.

С учетом специфических особенностей работы слоя к щебню для ЩМА предъявляются повышенные требования. Поэтому для ЩМАС используют только высокопрочный щебень кубовидной формы. В щебне ограничено содержание слабых зерен, зерен игольчатой и лещадной формы.

Взаимодействие минеральных и вяжущих материалов является важнейшим элементом структурообразования в асфальтобетоне. Структура асфальтобетона определяется качеством и количеством составляющих, их сочетанием, размещением и связью между ними. Она определяет его главные свойства: прочность и деформативность, плотность и долговечность.

Анализ выполненных работ [2–7] показал, что для устройства покрытий, дорог высоких категорий, а также городских улиц и дорог мог бы быть материал, обладающий высокой сдвигоустойчивостью и длительной шероховатостью.

Теоретико-методологические положения формирования комплексно-модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона повышенной долговечности

Современные представления об условиях работы асфальтобетонов в покрытиях жестких дорожных одежд, о составе и структуре нефтяных дорожных битумов, закономерностях структурообразования в концентрированных растворах полимеров, наполненных полимерных системах, битумо- и полимербитумных вяжущих, асфальтовяжущих веществах и асфальтобетонах, и использование системного анализа позволили: обосновать способы направленного регулирования структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона, обеспечивающие повышенную долговечность дорожного асфальтобетона в условиях эксплуатации.

В частности получение щебеночно-мастичного асфальтобетона с заданной структурой и свойствами достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно: при проектировании долговечных асфальтобетонов необходимо создать устойчивый пространственный каркас, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальтовяжущее вещество, а объем остаточных пор в бетоне должен быть минимальным.

Для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать II тип макроструктуры асфальтобетона (поровая), который позволит эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного зернами щебня и способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости (достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности, внутреннего трения и зацепления, исследования В. А. Золотарева [8]).

При качественных компонентах и оптимальной структуре бетона наиболее целесообразным способом управления структурообразованием асфальтобетона является физико-химическая модификация «объемного» и «структурированного» органического вяжущего полимерными добавками (битума

термоэластопластами и реакционноспособными терполимерами, и комплексными добавками (полимер + активный дисперсный наполнитель, катализатор отверждения терполимера), а также повышенные энергии взаимодействия на поверхности раздела фаз (ПРФ) «органическое вяжущее – минеральный порошок», активированный олигомером, который содержит функциональные группы (карбаминоформальдегидная смола (КФ-МТ), полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (ПОЭС) и др., или растворами полимеров, например, СКМС-30, Элвалой АМ и др.

Необходимым условием эффективного влияния полимера на свойства органических вяжущих являются совместимость этих компонентов, которая определяется прежде всего способностью полимера растворяться в вяжущем до молекулярного и надмолекулярного уровня. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (например, равенство параметров растворимости полимера и дисперсионной среды органического вяжущего). Оптимальные температурно-временные режимы совмещения полимера и нефтяного битума должны обеспечить растворение полимера в битуме без деструкции последнего при достижении максимального значения битумополимерным вяжущим значений эластичности.

Макромолекулы полимера в среде органического вяжущего должны обладать склонностью к ассоциации. Такими могут быть высокомолекулярные соединения, содержащие в своем составе функциональные группы (NH, OH, CCl и др.), например, этиленглицидилакрилат. Это позволит при минимальном содержании полимера в битуме сформировать термофлуктуационную пространственную сетку, прочность которой будет определяться прочностью связей в узлах сетки (даже при повышенных температурах) и числом узлов, а эластичность гибкостью цепей между ними (при низких температурах). В частности, при получении битумополимерных вяжущих полимер должен образовывать в битуме такую структурную сетку, которая сохраняет прочность при температуре не ниже 60 °С, а эластичность при минимальной температуре данного дорожно-климатического района.

Структура битумополимерных вяжущих (БПВ) должна характеризоваться оптимальным сочетанием измененной полимером дисперсионной среды органического вяжущего и структурно-механическими характеристиками дисперсий дисперсной фазы органического вяжущего. Для этого ОВ должно иметь оптимально-структурированную среду (нефтяной дорожный битум III структурно-реологического типа).

Структурная сетка полимера должна сформироваться в ОВ после окончания уплотнения асфальтобетонной смеси или обратимо разрушаться при критических напряжениях.

Введение полимера в ОВ должно повышать или не понижать его адгезию к поверхности минеральных материалов.

БПВ при хранении в битумоварочных котлах при технологических температурах должно быть термостабильным и кинетически термоустойчивым.

При модификации маловязких ОВ вместе с полимерами необходимо вводить структурирующие добавки (техническая сера, активный наполнитель). Дисперсный наполнитель должен хорошо смачиваться битумополимерной средой. Это будет способствовать более равномерному распределению его в объеме ОВ. Для обеспечения седиментационной устойчивости наполненного БПВ плотность структурирующей добавки должна быть сопоставима с плотностью модифицируемого (битумополимерного) вяжущего. Наполнитель должен содержать полярные и даже реакционноспособные группы, способствующие упрочнению связи на ПРФ «органическое вяжущее – наполнитель». Введение оптимальной концентрации дисперсного наполнителя в БПВ приведет к увеличению общей степени структурированности системы, так как часть раствора полимера перейдет в двумерное состояние с повышенными механическими свойствами. По мере увеличения концентрации наполнителя или уменьшения размера его частиц сформируются коагуляционные структуры из частиц наполнителя и асфальтенов битумов через прослойки пластифицированного полимера. В битумополимерном вяжущем должна сформироваться трехмерная сопряженная сетка, которая обеспечит заданные технологические свойства асфальтобетонных смесей и структурно-механические характеристики комплексно-модифицированного асфальтобетона.

ВЫВОД

На основе анализа литературных источников показано, что наиболее целесообразным способом повышения долговечности покрытий нежестких дорожных одежд является использование для их устройства комплексно-модифицированных щебеночно-мастичных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров, Н. В. Применение инноваций в дорожно-строительном материаловедении / Н. В. Быстров, В. А. Попов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2011. – № 10. – С. 1–4.
2. Углова, Е. В. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей для слоев износа / Е. В. Углова, Н. И. Ширяев, Н. О. Поздняков. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова Строительство и архитектура. – 2019. – № 1. – С. 9–15.
3. Мевлединов, З. А. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей в покрытиях автомобильных дорог / З. А. Мевлединов, Т. И. Левкович, А. Е. Билько. – Текст : непосредственный // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Том 5, № 3. – С. 1–14.
4. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона : издание официальное : отраслевой документ / Государственный дорожный научно-исследовательский институт ФГУП «СОЮЗДОРНИИ». – Москва : [б. и.], 2002. – 37 с. – Текст : непосредственный.
5. Кирюхин, Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. – Москва : ООО Издательство «Элит», 2009. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси в дорожном строительстве. Тематическая подборка. – Москва : ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2004. – 8 с. – Текст : непосредственный.
7. Костин, В. И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий : учебное пособие / В. И. Костин. – Москва : Новгород, издание ННГАСУ, 2009. – 65 с. – Текст : непосредственный.
8. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО «Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.

Получена 23.12.2021

А. М. САТКОЄВА

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНІХ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИЧНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ КОМПЛЕКСНОЮ МОДИФІКАЦІЄЮ СТРУКТУРИ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИЧНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ
ДАОУ ВПО «Південно-Осетин-ський державний університет імені А. А. Тибілова»

Анотація. Розглянути склади та технології виробництва, укладання та ущільнення щебенево-мастичних асфальтобетонних сумішей. Показано, що ефективний метод поліпшення якості та довговічності щебенево-мастичних асфальтобетонних сумішей є комплексна модифікація органічного в'язучого сполучного з комплексною добавкою, що складається із бутадієн-метилстирольного каучуку та технічної сірки, а також затвердження поверхні мінеральних матеріалів з щебенево-мастичних асфальтобетону латексом дивініл-стирольного каучуку бутонал NS198. Сформульовано теоретико-методологічні положення формування структури комплексно-модифікованої щебенево-мастичної асфальтобетонної суміші, що характеризується широким температурним інтервалом ущільнюваності. Це досягається при оптимальному кількісному співвідношенні між мікро-, мезо- і макроструктурами, а саме при проектуванні довговічних ЩМА необхідно створити стійкий каркас, що деформаційно релаксує з високим адгезійно-когезійними властивостями асфальтополімерна в'язуча речовина, а обсяг залишкових пір в ЩМА повинен бути мінімальним.

Ключові слова: комплексно-модифікований щебенево-мастичний асфальтобетон, склад, структура, властивості.

ALANA SATKOEVA

METHODS FOR INCREASING THE DURABILITY OF ROAD CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE BY COMPLEX MODIFICATION OF THE STRUCTURE OF CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE
SAEI HPE «South Ossetian State University named after A. A. Tibilov»

Abstract. The compositions and technologies of production, laying and compaction of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures are considered. It is shown that an effective way to improve the quality and durability of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures is the complex modification of the organic binder with a complex additive consisting of butadiene-methylstyrene rubber and technical sulfur, as well as finishing the surface of mineral materials of crushed stone-mastic asphalt concrete with Butonal NS198 divinyl-styrene rubber latex. Theoretical and methodological provisions for the formation of the structure of a complex-modified crushed stone-mastic asphalt concrete mixture, characterized by a wide temperature range of compactibility, are formulated. This is achieved with an optimal quantitative ratio between micro-, meso- and macrostructures,

namely, when designing durable SMA, it is necessary to create a stable frame, deformation-relaxing asphalt-polymer binder with high adhesive-cohesive properties, and the volume of residual pores in SMA should be minimal.

Key words: complex-modified crushed-stone-mastic asphalt concrete, composition, structure, properties.

Саткоева Алана Маирбеговна – старший преподаватель ГАОУ ВПО «Юго-Осетинский государственный университет имени А. А. Тибиллова»; соискатель кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов.

Саткоєва Алана Маїрбегівна – старший викладач ДАОУ ВПО «Південно-Осетинський державний університет імені А. А. Тибілова»; здобувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів.

Satkoeva Alana – senior lectures, SAEI HPE «South Ossetian State University named after A. A. Tibilov»; applicant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid pavements based on modified organic binders and complex modification of the concrete structure.