

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-315-323

УДК 691.168

## Перспективы применения комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона в дорожном строительстве

Асп. Д. Ю. Александров<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** Рассматривается возможность использования песчаного асфальтобетона в качестве материала для защиты как асфальтобетонных, так и цементобетонных дорожных покрытий от воздействия внешних разрушающих факторов. Определены недостатки и преимущества дорожных покрытий из песчаного асфальтобетона. Приведены рекомендации по улучшению свойств песчаного асфальтобетона. Проанализированы возможные варианты использования комплексно-модифицированных песчаных асфальтобетонов в дорожном строительстве. Отмечено, что по своим потенциально возможным физико-механическим свойствам активированные кварцевые пески совместно с микроармированием их дисперсными отходами промышленности являются эффективным компонентом для создания конструктивных слоев дорожных асфальтобетонных покрытий. В статье затронуты лишь отдельные аспекты эффективного применения кварцевых песков в дорожном асфальтобетоне. Тема представляет интерес для регионов, где отсутствуют месторождения горных пород для получения щебня, но имеется значительное распространение местных кварцевых песков. Их успешное применение связано с необходимостью создания специального оборудования для физико-химической активации поверхности зерен песка, позволяющей резко усилить адгезионную прочность на разделе фаз в системе «битум–SiO<sub>2</sub>». Рассматриваемая проблема актуальна: ее решение позволит максимально использовать местные пески и частично исключить применение щебня в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** песчаный асфальтобетон, дисперсное армирование, активационные технологии, отходы промышленности, модификация полимерами, полиэтилен

**Для цитирования:** Александров, Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона в дорожном строительстве / Д. Ю. Александров // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 4. С. 315–323. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-315-323

## Prospects for Application of Complex-Modified Sand Asphalt Concrete in Road Construction

D. Yu. Alexandrov<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** The paper considers a possibility to use sand asphalt concrete as a material for protection of asphalt concrete and cement concrete road pavements against affection of external destructive factors. Advantages and disadvantages of sand asphalt concrete road pavements have been determined in the paper. The paper provides recommendations on improvement of sand asphalt concrete properties and contains an analysis of possible variants for usage of complex-modified sand asphalt concrete in the road construction. It has been noted that according to its potentially possible physical and mechanical properties activated quartz sand being micro-reinforced by dispersive industrial wastes is considered as an efficient component for creation of constructive layers in road asphalt concrete pavements. The paper reveals only specific aspects of the efficient application of quartz sand in road asphalt concrete. The subject of the paper looks rather interesting for regions where there

### Адрес для переписки

Александров Дмитрий Юрьевич  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 150,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 267-93-89  
ftk75@bntu.by

### Address for correspondence

Alexandrov Dmitriy Yu.  
Belarusian National Technical University  
150 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 267-93-89  
ftk75@bntu.by

are no rock deposits for obtaining broken-stone ballast but there is rather significant spreading of local quartz sand. Its successful application is connected with the necessity to develop special equipment for physical and chemical activation of sand grain surface that permits strongly to increase an adhesive strength in the area of phase separation within the “bitumen–SiO<sub>2</sub>” system. The considered problem is a topical one and its solution will make it possible to local sand in a maximum way and partially to exclude application of broken stone in road construction.

**Keywords:** sand asphalt concrete, dispersive reinforcement, activation technologies, industrial wastes, polymer modification, polyethylene

**For citation:** Alexandrov D. Yu. (2017) Prospects for Application of Complex-Modified Sand Asphalt Concrete in Road Construction. *Science and Technique*. 16 (4), 315–323. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-315-323 (in Russian)

## Введение

Значительный объем финансирования дорожной отрасли на сегодняшний день приходится на восстановление, поддержание и совершенствование существующей сети автомобильных дорог. В то же время не прекращаются работы по строительству новых автомобильных дорог различных технических категорий. Возрастающие осевые нагрузки автомобилей приводят к возникновению деформаций дорожных покрытий, не рассчитанных на такие воздействия. Максимальная расчетная нагрузка на одиночную ось автомобиля на сегодняшний день составляет 11,5 тс. Вероятно, что в ближайшее время в расчетах для дорог высоких технических категорий с интенсивным движением транзитных транспортных средств расчетная нагрузка составит 14–15 тс. Наиболее интенсивно асфальтобетонные покрытия под нагрузкой деформируются в летний период. Снижение ровности автомобильных дорог влечет за собой увеличение затрат как на транспортировку груза, так и на эксплуатацию транспортного средства.

Общая протяженность дорожной сети Республики Беларусь составляет почти 90 тыс. км, около 55 % ее протяженности имеют асфальтобетонные покрытия. Но уже к 2020 г. планируется широко строить дороги с цементобетонным покрытием.

Асфальтобетонные и цементобетонные покрытия со временем теряют свои эксплуатационные качества. Согласно современным представлениям о создании надежной и долговечной дорожной одежды, несущие ее слои должны быть перекрыты тонким, плотным, стойким к истирающим нагрузкам и агрессивному воздействию внешней среды защитным слоем. Одним из вариантов такого защитного состава может стать песчаный модифицированный дорожный асфальтобетон, основным минеральным сырьем для которого является

повсеместно распространенный кварцевый песок, а также различные техногенные отходы промышленности.

## Факторы, влияющие на прочность асфальтобетонных покрытий

Асфальтобетонные покрытия, работающие в сложных климатических условиях Республики Беларусь и средней полосы Российской Федерации, в большей степени подвержены преждевременному разрушению, чем такие же покрытия, работающие в климатических условиях центральной Европы (Германия, Франция, Бельгия и др.). Преждевременное их разрушение по сравнению со странами Европы обусловлено, во-первых, значительно меньшим температурным интервалом, в котором может без разрушения работать асфальтобетон, а во-вторых, большим числом циклов замораживания-оттаивания. Например, согласно европейскому стандарту [1] на дорожные битумы температура хрупкости по Фраасу составляет не менее минус 8 °С или не нормируется, в то время как по белорусским стандартам [2] и [3] температура хрупкости для битумов с сопоставимыми показателями пенетрации – минус 17 и минус 20 °С соответственно. Причем температура размягчения по кольцу и шару приблизительно одинакова (45–50 °С).

Для асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог характерны следующие дефекты:

- шелушение и выкрашивание – результат нарушения технологии приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси;
- пластические деформации (колея, волны, сдвиги, наплывы) – следствие низкой сдвигоустойчивости асфальтобетона, проявляющейся при высоких летних температурах и интенсивном движении тяжелых транспортных средств;
- усталостные трещины – результат несоответствия несущей способности дорожных

одежд величине и интенсивности разрушающего воздействия;

- отраженные трещины – образуются после проведения ремонта нижележащих слоев асфальтобетона, а также над деформационными швами цементобетонных покрытий при перекрытии их слоями асфальтобетона;

- температурные трещины, сетка трещин – в первые годы эксплуатации температурные трещины вызваны недостаточной устойчивостью битума к температурному воздействию, в последующие годы эксплуатации причиной интенсивного трещинообразования является процесс старения битума (частота их появления увеличивается, расстояние между ними уменьшается, что постепенно приводит к образованию сетки трещин).

Существуют различные способы ликвидации и предупреждения образования существенных дефектов асфальтобетонных покрытий. Для предотвращения дальнейшего разрушения покрытия при его шелушении и выкрашивании необходимо проведение защитных мероприятий: устройство слоя износа или обработка пропиточными составами. Пластических деформаций можно избежать, используя асфальтобетонные смеси с высоким содержанием щебня, например щебеночно-мастичные композиции. Правильный учет и прогнозирование изменения интенсивности движения и нагрузки на дорожную одежду, а также своевременное проведение ремонтных мероприятий позволят предотвратить появление температурных и усталостных трещин. Для предупреждения образования отраженных трещин между существующим покрытием и новыми асфальтобетонными слоями обычно устраивается трещинопрерывающая прослойка из геосинтетического материала или крупнозернистой смеси на органическом вяжущем. Процесс старения битума неизбежно вызывает интенсивное трещинообразование через три-четыре года эксплуатации. Старение битума можно замедлить путем устройства тонких защитных слоев износа, а также пропитки покрытия различными химическими композициями.

В зарубежных странах межремонтный интервал для асфальтобетонных покрытий составляет пять-семь лет. В этот период предусмотрено проведение поддерживающих ремонтов в зависимости от степени разрушения покрытия [4]. В начале эксплуатации – это герметизация образовавшихся трещин и пропитка

покрытия специальными гидрофобными составами с целью замедления процесса старения битума. Обычно при незначительных по объему дефектах устраиваются защитные слои по типу Slurry Seal. Предусмотрено также устройство тонких защитных слоев из органоминеральных смесей (микрпокрытий). В качестве вяжущего в таких смесях используются полимер-модифицированные эмульсии, что позволяет снизить стоимость строительства. Однако поверхностная обработка во многих странах применяется лишь в незначительных объемах или на дорогах невысоких категорий. В Республике Беларусь поверхностная обработка – наиболее распространенный способ текущего ремонта автомобильных дорог. Причем работы производятся как машинами с синхронным распределением вяжущего и щебня, так и по традиционной технологии. Недостатком поверхностной обработки является ее низкое качество при любом нарушении технологии производства работ. Поверхностная обработка по сравнению с технологией Slurry Seal не позволяет существенно повысить ровность, ликвидировать колею и законсервировать очаги дефектообразования дорожных покрытий.

Цементобетонные покрытия также подвержены разрушению и деформациям (вертикальное смещение плит, шелушение, выкрашивание, истираемость и др.). Наиболее неблагоприятный период для эксплуатации цементобетонных дорожных покрытий – зимний. Низкая коррозионная стойкость к воздействию солей, попеременное замораживание-оттаивание, использование шипованной резины приводят к появлению различных микроразрушений поверхностного слоя дорожного бетона.

Применение технической соли при зимнем содержании цементобетонных покрытий приводит к возникновению термического удара [5]. Техническая соль снижает температуру замерзания воды и вызывает таяние льда при отрицательной температуре. Этот процесс сопровождается поглощением теплоты, т. е. снижением температуры поверхностного слоя бетона. В случае термического удара возникает значительный температурный градиент (от 2,5 до 9,0 °С) в поверхностных слоях бетона в течение первых 2–3 мин. Происходит замерзание воды в мелких порах поверхностного слоя бетона, приводящее к значительному повышению льдистости. Следствие этого – температурные деформации и напряжения, которые могут вы-

звать преждевременное разрушение поверхностного слоя бетона.

Исследования, проведенные в МАДИ [6], свидетельствуют о том, что совместное применение при зимнем содержании противогололедных реагентов и шипованной резины приводит к образованию поверхностных деформаций в первые несколько лет эксплуатации. Замедлить этот процесс можно, лишь используя защитные гидрофобизирующие составы.

На эксплуатационную долговечность цементобетонных покрытий также оказывают влияние процессы, происходящие при твердении цементобетонной смеси в период строительства покрытия [7]. Истираемость и прочность поверхностного слоя цементобетона в первую очередь зависят от величины влагопотерь при твердении бетона. Влагопотери крупнозернистого щебеночного бетона значительно больше, чем мелкозернистого. Для уменьшения потерь влаги при твердении используются защитные пленочные или гидрофобизирующие пропиточные материалы.

Срок службы цементобетонных покрытий теоретически может составлять до 50 лет. Но воздействие климатических и эксплуатационных факторов снижает этот показатель. Цементобетонные покрытия практически не вырабатывают свой теоретический ресурс службы. Для поддержания транспортно-эксплуатационных качеств таких покрытий чаще всего используется их обработка кольматирующими составами. Периодичность обработки зависит от величины истирающей нагрузки и погодноклиматических воздействий. Использование кольматирующих составов позволяет замедлить процесс поверхностного разрушения цементобетона, но не предохраняет поверхностный слой от термического удара в зимний период.

На цементобетонных покрытиях возможно устройство двойной поверхностной обработки, но это далеко не лучший вариант. В развитых европейских странах наблюдается тенденция к устройству на различных дорожных покрытиях сверхтонких защитных слоев из органоминеральных смесей. Такие слои периодически обновляются раз в несколько лет, что позволяет существенно защитить несущие слои дорожных одежд, поскольку защитные слои воспринимают на себя агрессивное воздействие внешней среды. Препятствием для широкого применения тонкослойных защитных слоев на органическом вяжущем при усилении существующих

покрытий может стать их недостаточная устойчивость к образованию отраженных трещин.

### **Песчаный асфальтобетон: преимущества и недостатки**

К основным положительным качествам дорожных песчаных асфальтобетонов относятся [8]: коррозионная стойкость, износостойкость, гигиеничность, более низкая стоимость по сравнению со щебеночными смесями. По сравнению с любым другим видом асфальтобетона песчаный асфальтобетон обладает наиболее однородной структурой, благодаря чему возникающие в нем напряжения распределяются в объеме равномерно, в то время как в щебеночных асфальтобетонах отдельные щебенки являются опасными «концентраторами» напряжений. Этим фактом объясняется более высокая коррозионная износостойкость песчаных асфальтобетонов.

К основным недостаткам песчаных асфальтобетонов относятся низкая сдвигоустойчивость при высоких летних температурах и высокая «чувствительность» к нарушению состава смеси при приготовлении. Согласно общей теории строительного материаловедения, материалам с более однородной структурой соответствуют более высокие прочностные показатели. Теоретически прочность песчаных асфальтобетонов может быть больше, чем прочность щебеночных, но при существующей технологии производства асфальтобетонных смесей пока невозможно получить сдвигоустойчивый песчаный асфальтобетон вследствие следующих причин.

В структуре песчаного асфальтобетона можно выделить объемный и структурированный битумы. Структурированный битум образует на поверхности частиц минерального материала тонкую непрерывную пленку, через которую зерна минерального материала контактируют между собой для образования прочной адгезионной связи. Но такого количества битума будет явно недостаточно для качественного перемешивания смеси. Объемный битум, который необходим для приготовления смеси, впоследствии занимает межзерновое пространство, увеличивая толщину битумной прослойки между зернами песка. В таком случае структурная прочность асфальтобетона характеризуется лишь незначительной величиной сцепления зерен песка друг с другом через тон-

кую битумную пленку, а основную нагрузку несет асфальтовяжущее вещество. Немаловажным фактором, влияющим на прочность песчаного асфальтобетона, является низкая адгезия битума к поверхности кварцевых зерен песка, обусловленная природой его минералогической структуры (содержание  $\text{SiO}_2$  в песке более 95 %). Учитывая эти особенности песчаных асфальтобетонов, любое, даже незначительное, изменение соотношения составляющих смеси оказывает большое негативное влияние на их основные эксплуатационные показатели.

Песчаный асфальтобетон в дорожном строительстве широко применялся в СССР до 60-х гг. прошлого века. В послевоенные годы использование данного материала было обусловлено невысокой интенсивностью движения и низкой нагрузкой на ось автомобиля, а также нехваткой прочного крупного заполнителя, который был в первую очередь необходим для послевоенного восстановления разрушенных зданий и сооружений. Однако с ростом интенсивности движения песчаный асфальтобетон вытеснили более прочные щебеночные асфальтобетоны. В настоящее время песчаный асфальтобетон в основном используется лишь для устройства пешеходных дорожек и тротуаров. Возможность широкого применения песчаных асфальтобетонов обусловлена повсеместным распространением песков и легкостью их добычи. Широкое использование песчаных асфальтобетонов в качестве материала для несущих слоев дорожной одежды, т. е. устройства толстых слоев, в настоящее время не представляется возможным, но применение их в качестве защитного слоя с толщиной не более 1–2 см при условии улучшения физико-механических свойств этого материала – экономически целесообразно.

#### **Улучшение свойств песчаных асфальтобетонов**

За многолетний период эксплуатации покрытий из песчаных асфальтобетонов накоплен достаточный опыт и намечены пути улучшения его свойств за счет: оптимизации гранулометрического состава, дисперсного армирования, физико-химической активации поверхности заполнителя, модификации битума полимерами, совершенствования приготовления смеси.

В качестве минерального заполнителя в песчаных асфальтобетонах можно использовать

как природный песок, так и отсеvy дробления [8]. Песчаные асфальтобетоны на природном песке имеют высокую плотность и шероховатость, на основе отсева дробления – более высокие сцепные качества, что объясняется увеличением числа контактов колеса с покрытием. К основным недостаткам можно отнести низкие значения сдвигоустойчивости в связи с малой адгезионной прочностью системы «битум – кварцевый песок».

Практика показала [9], что наиболее целесообразно проводить обогащение смеси из природных песков отсевами дробления. Известно, что процентное содержание отсева в смеси необходимо в каждом случае устанавливать экспериментально, потому что до сих пор не существует достаточно убедительных теоретических исследований по этому вопросу. В различных рекомендациях по улучшению свойств песчаных асфальтобетонов доля отсева колеблется от 10 до 50 %. Корректируя гранулометрический состав, необходимо исходить из условия достижения наибольшей плотности готовой смеси. С целью снижения стоимости песчаного асфальтобетона в состав минеральной части целесообразно вводить отработанные формовочные смеси (ОФС). Однако решение об использовании ОФС того или иного литейного производства может быть принято только после тщательного исследования этого материала. Как правило, пока на большом количестве литейных производств ОФС просто вывозятся в отвалы в виде отходов.

Установлено, что дисперсное армирование является одним из наиболее эффективных способов улучшения прочностных свойств мелкозернистых материалов. Исследования дисперсно-армированных асфальтобетонов, проведенные в различных странах, подтверждают этот вывод. Например, в [10–14] отмечается, что содержание волокна в структуре асфальтобетона даже в пределах не более 1 % повышает транспортно-эксплуатационные свойства дорожных покрытий, однако на эффективность армирования также оказывает влияние тип применяемого волокна. Наиболее важным показателем, определяющим возможность использования волокна в составе асфальтобетона, является степень гидрофобности его поверхности.

Проведенные автором статьи исследования показали, что в качестве армирующих волокон

перспективно использовать отходы, образующиеся, например, при производстве минераловатных плит «БЕЛТЭП» (ОАО «Гомельстройматериалы»). Ежегодно такой отход собирается в объеме 13000 т в виде базальтового волокна. В исследованиях, проведенных в БНТУ [14], для дисперсного армирования использовали лавсановое, вискозное, капроновое, базальтовое и стекловолокно. Установлено, что увеличить адгезию битума к поверхности волокнистой добавки можно при помощи обработки волокна гидрофобизирующими составами, которые подбираются в зависимости от происхождения волокон. Такая обработка необходима, чтобы не допустить раскручивание и разбиение волокнистого пучка на отдельные волокна. Наилучшие результаты были достигнуты при армировании стекловолокном, обработанным анионным ПАВ. Значение предела прочности на сжатие при 50 °С превысило минимально допускаемое на 80 %. Количество вводимого в смесь волокна составляло не более 2 %. Дисперсное армирование позволило увеличить сдвигоустойчивость на 20–40 % и трещиностойкость – на 100–200 %, что особенно необходимо для предупреждения образования отраженных трещин. Следует отметить, что в приведенном исследовании [14] в состав минеральной части материала входил гравий, что не дает возможности в полной мере оценить влияние дисперсного армирования на свойства именно песчаных бетонов.

Предусмотренные существующими нормативными документами испытания асфальтобетонов не позволяют оценить их работоспособность во времени. Дополнительными показателями качества песчаных армированных асфальтобетонов могут служить динамический модуль упругости и величина остаточной деформации при постоянной нагрузке [15]. Динамический модуль упругости был включен в Руководство AASHTO по подбору состава асфальтобетонных смесей в качестве нормируемого показателя в 1993 г. Значения динамического модуля упругости песчаных асфальтобетонов, армированных фиброволокном (1 %), превысили значения неармированного песчаного асфальтобетона на 10–40 % в зависимости от частоты нагружения. При испытании на статическую ползучесть неармированный асфальтобетон разрушился через 20 мин, а дисперсно-армированный выдержал до разрушения 206 мин, что в 8,6 раза больше.

Дисперсное армирование позволяет повысить сдвигоустойчивость, трещиностойкость, коррозионную стойкость, прочность и износостойкость песчаных асфальтобетонов. На прочность армированного композита оказывают влияние следующие факторы: происхождение волокон, процентное содержание волокна в смеси, соотношение длины к диаметру волокна, ориентация волокна в смеси и др. Эффективность дисперсного армирования именно песчаных асфальтобетонов обусловлена структурой материала. Наполнение короткими прочными волокнами позволит повысить прочность асфальто вяжущего, которое воспринимает значительную нагрузку в песчаных асфальтобетонах, но это, в свою очередь, приводит к некоторому увеличению расхода битума.

Для смачивания битумом большой удельной поверхности заполнителей песчаного асфальтобетона необходимо понизить вязкость вяжущего, без изменения его эксплуатационных качеств. Установлено, что при использовании серобитумных вяжущих можно сократить время перемешивания смеси на 1–2 мин, а также снизить температуру приготовления на 10 °С [16]. Оптимальное процентное содержание серы для песчаных асфальтобетонов по результатам указанного исследования составляет 30 %. При таком показателе сера является также структурообразующей добавкой. Использование серобитумных вяжущих позволяет повысить температурную устойчивость песчаных асфальтобетонов.

Один из самых распространенных способов повышения эксплуатационных качеств битумо-минеральных смесей – модификация вяжущего полимерами [17]. В качестве модифицирующих добавок используются высокомолекулярные соединения в виде эластомеров, термопластов, термоэластопластов и реактопластов [18, 19].

При изучении влияния модифицированных битумов на физико-механические свойства асфальтобетонов в абсолютном большинстве случаев изготавливались многощелебнистые асфальтобетонные смеси типа Б или В. При этом свойства таких битумов значительно улучшались. Поэтому можно предположить, что применение модифицированных битумов позволит также повысить физико-механические свойства и песчаных асфальтобетонов.

Следуя общей концепции максимально возможного использования в составе песчаного

асфальтобетона отходов промышленности и местных материалов, наиболее целесообразно применять в качестве модифицирующей добавки полиэтилен. Материалы на основе полиэтилена широко распространены, а большая часть отходов от него не перерабатывается, что ухудшает экологическую обстановку. Перспективно использование полиэтилена как низкого, так и высокого давления, полученного в виде крошки, агломерата или хлопьев из пленки сельскохозяйственного назначения, упаковочной тары и других материалов. Получить полиэтиленовую крошку размерами 3–5 мм из толстостенного пластика можно при помощи роторного ножевого измельчителя. Хлопья из полиэтиленовой пленки получают путем резания ее на средних скоростях в коническо-ножевом измельчителе. Полиэтилен может быть введен в асфальтобетонную смесь в виде крошки или хлопьев по линии подачи волокнистых материалов, а также использоваться для приготовления полимербитумного вяжущего, что подразумевает его отдельное приготовление [18]. Во втором случае при высокотемпературной гомогенизации происходит химическое соединение нефтяных компонентов с полимерной матрицей. Формируется новая структура с прочным соединением структурированного и свободного битумов с неполярным структурно-вязким полиэтиленом. Недостаточную растяжимость битумов с добавкой полиэтилена можно компенсировать дисперсным армированием асфальтобетона.

При введении полиэтиленовой крошки непосредственно в смеситель при приготовлении смеси полиэтилен практически не вступает в химическое взаимодействие с битумом, а изменение свойств асфальтобетона обусловлено эффектом структурирования битумного вяжущего полиэтиленовыми частицами, так как прочность песчаного асфальтобетона обусловлена прочностью асфальтовяжущего. В таком случае добавка 1,0–1,5 % полиэтилена от массы минеральных материалов при времени перемешивания смеси 2–3 мин и температуре 140–180 °C позволяет повысить прочность асфальтобетона на 25–30 %, сдвигустойчивость – на 10 % и трещиностойкость – на 5 %.

Минеральная часть песчаных асфальтобетонных может быть представлена как природным кварцевым песком, так и отсевом дробления кислых горных пород. Для данных материалов характерно наличие слабого отрицательного

потенциала на поверхности их частиц. Слабым отрицательным потенциалом обладает также битум, что приводит к низкой его адгезии к поверхности минерального материала. В связи с указанным возникает необходимость в изменении заряда поверхности минерального заполнителя. В БНТУ разработана технология трибоактивации природного кварцевого песка [20]. Установлено, что трибоактивация песка известковым раствором и последующее введение в смесь до 50 % такого песка позволяют повысить значения прочности асфальтобетона в два раза. К упрощенным методам активационных технологий относится простая обработка песков известковым раствором. В отличие от метода трибоактивации обработка песков известковым раствором вполне осуществима и не требует создания специальных модулей на асфальтобетонных заводах.

Возможным способом снижения количества свободного битума в асфальтобетонной смеси является ее двухступенчатая технология приготовления [21]. Данная технология предусматривает раздельное приготовление асфальтовяжущего (органическое вяжущее и минеральный порошок) и последующее введение в него зерен песка. Согласно результатам исследования, двухступенчатая технология позволяет снизить потребность в битуме на 10 %. Совместное применение при приготовлении асфальтобетонных смесей ПАВ и вибрации уменьшает потребность в битуме до 35 %. Наибольший интерес в перспективе представляет газовая технология приготовления асфальтобетонной смеси. Для этого в конструкцию асфальтосмесительной установки необходимо ввести агрегат для предварительной обработки зерен песка аэрозольным битумом.

Улучшение деформационных и усталостных показателей песчаных асфальтобетонов позволит использовать их не только как защитный слой цемента- и асфальтобетонных покрытий (рис. 1а), но и как трещинопрерывающую прослойку (рис. 1б) при капитальном ремонте дорожных одежд. В настоящее время в качестве трещинопрерывающих прослоек используются геосинтетические материалы или крупнозернистые пористые смеси на органическом вяжущем. Однако эти же функции может выполнять комплексно-модифицированный песчаный асфальтобетон с добавкой полимера, одновременно являясь еще и выравнивающим слоем.

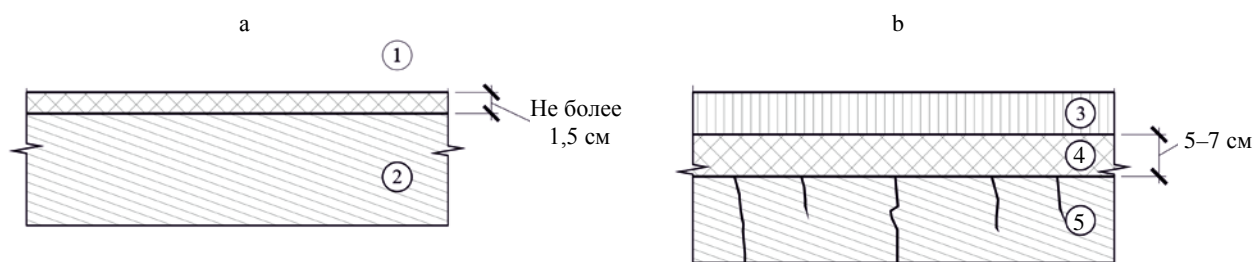


Рис. 1. Варианты применения комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона: а – в качестве защитного слоя; б – в качестве трещинопрерывающей прослойки; 1 – комплексно-модифицированный песчаный асфальтобетон; 2 – конструктивный слой асфальто- или цементобетонного покрытия; 3 – новый слой усиления из асфальто- или цементобетона; 4 – трещинопрерывающий слой из комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона; 5 – существующее асфальто- или цементобетонное покрытие с развитыми трещинами

Fig. 1. Variants for application of complex-modified sand asphalt concrete: а – as protective layer;

б – as cracks stopping layer; 1 – complex-modified sand asphalt concrete;

2 – constructive layer of asphalt- and cement-concrete pavement; 3 – new reinforcement asphalt- or cement-concrete layer;

4 – cracks stopping layer made of complex-modified sand asphalt concrete;

5 – existing asphalt- or cement-concrete pavement with developed cracks

### ВЫВОДЫ

1. Песчаный асфальтобетон в настоящее время не используется для устройства конструктивных слоев дорожных покрытий, что обусловлено в основном его низкой сдвигоустойчивостью. Большинство исследователей пытались решить эту проблему различными способами. Однако это оказалось невозможным при данном техническом состоянии асфальтобетонных заводов: для решения проблемы требуется разработка усовершенствованного технологического процесса приготовления песчаных асфальтобетонных смесей на основе газовой технологии.

2. Широкое применение песчаного асфальтобетона в конструктивных слоях дорожных одежд возможно только при обеспечении следующих условий: максимального увеличения его структурной сдвигоустойчивости и максимального увеличения гидрофобной водонепроницаемости.

3. В Республике Беларусь исследования в области комплексной модификации песчаных асфальтобетонов на сегодняшний день не проводятся. Комплексная модификация позволит применять песчаный асфальтобетон с пониженной ресурсоемкостью и повышенными физико-механическими свойствами при значительном экономическом эффекте.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Битумы дорожные. Технические требования и методы испытаний: СТБ EN 12591–2010 (EN 12591:2009, IDT). Введ. 01.08.2010. Минск: Госстандарт, 2010. 22 с.

2. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия: СТБ 1062–97. Введ. 01.07.97. Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997. 16 с.

3. Битумы модифицированные дорожные. Технические условия: СТБ 1220–2009. Взамен СТБ 1220–2000; введ. 01.01.2010. Минск: Госстандарт, 2009. 18 с.

4. Опанасенко, О. Н. Свойства и применение битумных дисперсий и битумно-эмульсионных материалов / О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько. Минск: Беларуская навука, 2014. 269 с.

5. Пшембаев, М. К. Процессы, протекающие на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, В. Н. Яглов // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 4. С. 265–270. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-265–270.

6. Ушаков, В. В. Исследование истираемости цементобетонных покрытий автомобильных дорог / В. В. Ушаков, Г. Г. Дьяков // Наука и техника в дорожной отрасли. 2014. № 1. С. 31–32.

7. Толмачев, С. Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов / С. Н. Толмачев. Харьков, 2013. 427 с.

8. Дорожный асфальтобетон / А. М. Богуславский [и др.]; под ред. Л. Б. Гезенцвея. М.: Транспорт, 1985. 350 с.

9. Предложения по повышению качества песчаного асфальтобетона: сб. / М-во трансп. стр-ва СССР. Гос. всесоюз. дор. науч.-исслед. ин-т «СоюздорНИИ». Балашиха, 1970. 24 с.

10. Jahromi, S. Gh. Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete / S. Gh. Jahromi, A. Khodaii // The Arabian Journal for Science and Engineering. 2008. Vol. 33, No 2B. P. 355–364.

11. Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests / M. R. Mitchell [et al.] / Journal of Testing and Evaluation. 2010. Vol. 38, No 4. P. 12. DOI: 10.1520/jte102442.

12. Ye, Qunshan. Rheological Properties of Fiber Reinforced Asphalt Binders / Qunshan Ye, Shaopeng Wu // Indian



- Journal of Engineering & Materials Sciences. 2009. Vol. 16. P. 93–99.
13. Lee, S. J. Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete / S. J. Lee // *Textile Research Journal*. 2005. Vol. 75. No 2. P. 123–128.
  14. Акулич, А. В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов / А. В. Акулич. Минск: Белорус. политех. ин-т, 1987. 17 с.
  15. Полякова, С. В. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон / С. В. Полякова // *Мир дорог*. 2014. № 70. С. 56–61.
  16. Галдина, В. Д. Серобитумные вяжущие / В. Д. Галдина. Омск: СибАДИ, 2011. 124 с.
  17. Тарасов, Р. В. Модификация битумов полимерами [Электронный ресурс] / Р. В. Тарасов, Л. В. Макарова, А. А. Кадомцева // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 5 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34687>. Дата доступа: 07.10.2015.
  18. Бонченко, Г. А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. М.: Машиностроение, 1994. 176 с.
  19. Галдина, В. Д. Модифицированные битумы / В. Д. Галдина. Омск: СибАДИ, 2009. 228 с.
  20. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я. Н. Ковалев. Минск: Белар. энцыкл., 2002. 334 с.
  21. Ларина, Т. А. Двухступенчатая технология песчаного асфальтобетона / Т. А. Ларина. М., 1989. 21 с.
- Поступила 08.12.2016  
Подписана в печать 14.02.2017  
Опубликована онлайн 28.07.2017
- #### REFERENCES
1. STB [Standards of the Republic of Belarus] EN 12591–2010. *Road Bitumen. Technical Requirements and Test Methods*. Minsk, Gosstandart, 2010. 22 (in Russian)
  2. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1062–97. *Oil Bitumen for Top Layer of Roadway Paving. Technical Requirements*. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of Belarus, 1997. 16 (in Russian).
  3. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1220–2009. *Modified Road Bitumen. Technical Requirements*. Minsk, Gosstandart, 2009. 18 (in Russian).
  4. Opanasenko O. N., Krutko N. P. (2014) *Properties and Application of Bitumen Dispersions and Bitumen-Emulsion Materials*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 269 (in Russian).
  5. Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N., Yaglov V. N. (2016) Processes Occurring on the Surface of Concrete Pavement While Ensuring Chemical Protection Against Winter Slip. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 15 (4), 265–270. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-265-270.
  6. Ushakov V. V., Diakov G. G. (2014) Investigations on Dusting of Cement-Concrete Pavements for Motor Roads. *Nauka i Tekhnika v Dorozhnoi Otrastli* [Science and Engineering for Highways], (1), 31–32.
  7. Tolmachev S. N. (2013) *Development of Theory on Deterioration and Resistance of Road Cement Concrete in Case of Aggressive Factor Actions*. Kharkov. 427 (in Russian).
  8. Gezentsvei L. B., Gorelyshev N. V., Boguslavskii A. M., Korolev I. V. (1985) *Road Asphalt Concrete*. Moscow, Transport Publ. 350 (in Russian).
  9. USSR Ministry of Transport Construction. State All-Union Road Scientific Research Institute “SoyuzDorNII” (1970). *Proposals for Quality Improvement of Sand Asphalt Concrete*. Collected Book. Balashikha. 24 (in Russian).
  10. Jahromi S. Gh., Khodaii A. (2008) Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 33 (2B), 355–364.
  11. Mitchell M. R., Link R. E., Kaloush K. E., Biligiri K. P., Zeiada W. A., Rodezno M. C., Reed J. X. (2010) Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests. *Journal of Testing and Evaluation*, 38 (4), 102442. DOI: 10.1520/jte102442.
  12. Ye Qunshan, Wu Shaopeng (2009) Rheological Properties of Fiber Reinforced Asphalt Binders. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 16, 93–99.
  13. Lee S. J. (2005) Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete. *Textile Research Journal*, 75 (2), 123–128. DOI: 10.1177/004051750507500206.
  14. Akulich A. V. (1987) *Structure and Properties of Dispersed and Reinforced Asphalt Concrete*. Minsk, Belarussian Polytechnical Institute. 17 (in Russian).
  15. Polyakova S. V. (2014) Dispersed and Reinforced Asphalt Concrete with Application of Synthetic Fibre. *Mir Dorog [the World of Roads]*, (70), 56–61 (in Russian).
  16. Galdina V. D. (2011) *Sulfur Bitumen Binders*. Omsk, Siberian Automobile and Highway University (SIBADI). 124 (in Russian).
  17. Tarasov R. V., Makarova L. V., Kadomtseva A. A. (2014) Modification of Bitumen by Polymers. *Sovremennye Nauchnye Issledovaniya i Innovatsii* [Modern Scientific Investigations and Innovations], (5). Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34687> (Accessed 7 October 2015).
  18. Bonchenko G. A. (1994) *Asphalt Concrete. Shear Resistance and Technology for Polymer Modification*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 176 (in Russian).
  19. Galdina V. D. (2009) *Modified Bitumen*. Omsk, Siberian Automobile and Highway University (SIBADI). 228 (in Russian).
  20. Kovalev Ya. N. (2002) *Activation Technologies for Road Composite Materials*. Minsk, Belaruskaya Entsyklopedia Publ. 334 (in Russian).
  21. Larina T. A. (1989) *Two-Stage Technology of Sand Asphalt Concrete*. Moscow. 21 (in Russian).

Received: 08.12.2016

Accepted: 14.02.2017

Published online: 28.07.2017