

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19

*Ширяев А.О., *Высоцкая М.А.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: roruri@rambler.ru*

МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. В рамках данной статьи проанализирована потенциальная сырьевая база получения минеральных порошков для производства асфальтобетонных смесей, рассмотрены основные этапы структурообразования в асфальтобетоне в процессе взаимодействия битумного вяжущего с минеральными материалами. В границах современных подходов к проектированию асфальтобетонных смесей проведена оценка актуальной нормативной базы в отношении требований, предъявляемых сегодня к показателям свойств минеральных порошков и методологии отбора проб для оценки их качества. В работе отмечается, что несмотря на увеличение внимания к характеристикам минеральных порошков, требования к методологическому подходу по отбору проб минерального порошка и оценка качества бинарной системы «битумное вяжущее – минеральный порошок» или асфальтового вяжущего вещества, являющегося наиболее значимой составляющей асфальтобетона, в настоящее время слабо проработана в нормативной документации. В связи с этим, в свете современных подходов к системе проектирования асфальтобетонных смесей, в том числе по методологии объёмно-функционального проектирования, представляет интерес разработка качественной и количественной оценки влияния различных по природе минеральных порошков на структурирование битумных вяжущих и, как следствие, изменение их реологических свойств.

Ключевые слова: минеральный порошок, асфальтовое вяжущее вещество, асфальтобетонные смеси, нормативная база, система объёмно-функционального проектирования

Введение. За последние полвека мировая автотромышленность претерпела огромные изменения. Автомобильный трафик постоянно растёт, а автомобили с каждым днём становятся быстрее, «умнее» и технически сложнее, что определяет необходимость соответствия инфраструктуры, которая их поддерживает, вызовам современности.

Автомобильные дороги перестают быть банальной комфортной средой для перемещения из пункта «А» в пункт «Б», а постепенно превращаются в многозадачные центры, непрерывное взаимодействие с которыми является неотъемлемой частью нашей жизни и во многом её формируют. Уже сейчас наша планета буквально покрыта глобальной сетью дорог, которая постоянно растёт и по предварительным прогнозам через 25–30 лет увеличится вдвое [1].

Что касается непосредственно строительства, то здесь дорожная отрасль всегда ставила для себя большие задачи по совершенствованию автомобильных дорог с точки зрения их безопасности, комфортности и долговечности. В настоящее время строительство автомобильных дорог по умолчанию подразумевает использование актуальных научных достижений и передовых технологий, направленных на увеличение периода их эксплуатации [2–10]. Таким образом, для дорожной отрасли открываются два пути дальней-

шего ее развития: копирование зарубежных подходов или разработка собственных. На сегодняшний день, в условиях дефицита временных ресурсов, в нашей стране начали активно использоваться оба варианта.

Наибольшую популярность набирает комплексная система объёмно-функционального проектирования, учитывающая климатические факторы и грузонапряженность для каждого отдельного участка строительства автомобильной дороги, а также индивидуальный подход к взаимосвязи структур подготавливаемых асфальтобетонных смесей.

Основная часть. Свойства всех строительных материалов, в том числе и асфальтобетона, определяются тремя главными критериями: составом, состоянием и структурой.

В широком смысле, состав – это качественная и количественная характеристика веществ, слагающих сырьевые материалы или готовое изделие. Принято выделять несколько видов составов [11]:

- а) элементный состав – совокупность химических элементов;
- б) химический состав – совокупность компонентов, из которых состоит вещество;
- в) минералогический состав – совокупность природных или искусственных химических соединений (минералов);

г) фазовый состав – совокупность гомогенных частей системы, однородных по свойствам и физическому строению;

д) зерновой или гранулометрический состав – состав сыпучей смеси, отражающий содержание в ней зерен, либо гранул различных размеров и формы;

е) фракционный состав – состав сыпучей смеси, в котором зерна, близкие по размерам, образуют фракции.

Физические свойства материала характеризуют какую-либо особенность его физического состояния или способность сопротивляться внешнему воздействию окружающей среды. Физическое состояние строительных материалов достаточно полно характеризуется средней и истинной плотностью и пористостью.

Огромное значение для асфальтобетона, как одного из самых сложных строительных конгломератов, играет его структура, которую в первую очередь определяет качество и соотношение минеральных компонентов системы и их взаимное расположение, к ключевым факторам также относятся и характер связей между ними.

Классическая отраслевая отечественная наука [12–18] всегда уделяла повышенное внимание исследованиям взаимодействия минеральных материалов с битумным вяжущим. Согласно теории искусственных конгломератов, разработанной И.А. Рыбьевым [13–14], было выделено три структуры в асфальтобетоне: микро-, мезо- и макроструктура, каждая из которых представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из среды и фазы.

Микроструктура – это дисперсная составляющая или асфальтовое вяжущее вещество (АВВ), формируемое следующими компонентами системы «битумное вяжущее: минеральный порошок». Именно присутствие специально подготовленной дисперсной части со стандартными свойствами выделяет асфальтобетон из семейства других битумо-минеральных композиций. Минеральный порошок в структуре асфальтобетона выполняет две основные роли: является заполнителем пор в каркасе, сложенном более крупными минеральными материалами, а также переводит битумное вяжущее из объемного в качественно иное состояние – плёночное. Прочность микроструктуры определяется, прежде всего, качеством и концентрацией минерального порошка, а также физико-химическим характером взаимодействия среды и фазы. Поскольку на долю минерального порошка приходится основная суммарная удельная поверхность из объёма всех минеральных зерен, слагающих асфальтобетон, для грамотного управления процессами структурообразования отдельное внимание

стоит уделять количеству вводимого порошка, которое в свою очередь зависит от тонкости помола и активности его зерен [12–18].

Песчаная составляющая упрочняет микроструктуру, в результате чего, в асфальтовом вяжущем формируется мезоструктура, представленная асфальтовым раствором – «асфальтовое вяжущее : песок». Для данного типа структуры характерна своя реология, однако при недостаточной концентрации песка свойства мезоструктуры будут определяться свойствами микроструктуры.

Крупная минеральная составляющая завершает формирование прочной структуры асфальтобетона, образуя его макроструктуру – «асфальтовый раствор : щебень». При предельном насыщении растворной части щебнем в реологической модели меняется соотношение между вязкими и упругими свойствами.

Однако, ряд исследователей установили [19–21], что именно взаимодействие вяжущего с минеральным порошком и, как следствие, качество формируемого АВВ оказывает наибольшее влияние на процессы структурообразования асфальтобетона, так процесс взаимодействия макро- и мезоструктур в композите осуществляется посредством его микроструктуры, а не битумного вяжущего.

Таким образом, важность АВВ в структуре асфальтобетона безусловна. Более того, в отрасли принято говорить о качестве битумных вяжущих в составе дорожных композитов и их влиянии на прочностные и эксплуатационные показатели качества асфальтобетона в покрытии, однако, при объединении компонентов смеси в смеси АБЗ, понятие битумное вяжущее становится не правомерным. Появляется мастичная часть или микроструктура – АВВ асфальтобетона, посредством которой осуществляется объединение и фиксация минеральных зерен в каркас и именно она и ее качество определяют характер когезионных и адгезионных связей в композите.

В общем виде, минеральный порошок для асфальтобетонных смесей (МП) – это материал, полученный путем помола горных пород, либо твердых отходов промышленного производства. Выпускается минеральный порошок двух видов: активированный (гидрофобный) и неактивированный (гидрофильный).

Простая и надежная технология получения минерального порошка заключается в нагреве и сушке горной породы с последующим ее размолотом в шаровой мельнице. По причине высокой производительности, в последние годы для полу-

чения минеральных порошков используется разное оборудование из цементной промышленности.

Для качественного производства минерального порошка могут быть использованы:

1) карбонатные породы – осадочные породы, состоящие более чем на 50 % из одного или нескольких карбонатных минералов (известняк, доломит и переходные между ними разновидности);

2) некарбонатные породы – осадочные или изверженные породы, состоящие более чем на 50 % из минералов кремнезема (туф, трепел, опока, песчаник, гранит);

3) твердые и порошковые отходы промышленного производства, не требующие измельчения (золы-уноса и золошлаковые смеси тепловых электростанций, пыль уноса цементных заводов и металлургические шлаки).

В качестве активирующих веществ используются рационально подобранные смеси поверхностно-активных веществ (ПАВ) или продуктов, содержащих поверхностно-активные вещества с битумом, применительно к химической природе сырья для производства минерального порошка.

Переход дорожно-строительной отрасли на объёмно-функциональное проектирование асфальтобетонных смесей (методологии евроасфальта и *supergravel*) послужил отправной точкой для разработки множества нормативных документов, в частности на минеральный порошок в настоящее время действует два ГОСТ.

Таким образом, минеральный порошок в зависимости от показателей свойств, применяемых исходных материалов и нормативного документа подразделяют на следующие марки:

По ГОСТ 32761-2014:

МП-1 – минеральный порошок активированный из карбонатных горных пород;

МП-2 – минеральный порошок неактивированный из карбонатных горных пород;

МП-3 – минеральный порошок неактивированный из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

По ГОСТ 52129-2003:

МП-1 – порошки неактивированные и активированные из осадочных (карбонатных) горных пород и порошки из битуминозных пород.

МП-2 – порошки из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Наращивание темпа и объемов строительства дорог как федерального, так и местного значения, приводит к масштабному потреблению дорожной отрасли качественных наполнителей, что, в свою очередь, активно стимулирует

вовлечение в производственную деятельность, нацеленную на выпуск асфальтобетонных смесей, самых разнообразных отходов производств [22–26]. Такой подход способствует не только расширению минерально-сырьевой базы регионов, но и решению ряда задач экологического и экономического характера.

Большое распространение получили минеральные порошки из углеродсодержащих материалов [27–32]. Обобщая итоги этих работ, можно сделать вывод о том, что при грамотном подходе углеродсодержащие материалы, взамен традиционных известняковых, характеризуются большей адгезионной активностью, придают асфальтобетону повышенную водостойкость, коррозионную устойчивость, способствуют повышению его прочностных и сдвиговых характеристик.

Установлена возможность [33–34] применения в качестве минерального порошка боя асбестоцементных изделий и вторичных продуктов производства талька (талькомагнезита). Результаты исследований указывают, что полученные минеральные порошки не только соответствуют требованиям государственного стандарта, но и благодаря тонкодисперсному армированию структуры асфальтобетона увеличивает его прочностные характеристики.

Отдельно рассматривается применение минеральных порошков природного происхождения [35] и их производство из альтернативного природного сырья [36–40].

Активное внедрение в дорожную отрасль полимерной продукции стимулирует исследования в этом направлении. Известны труды [41–44], описывающие способ активации поверхности минерального порошка блоксополимером ДСТ-30-01, в результате которого наблюдается явно выраженный экстремум предела прочности асфальтобетона при сжатии при 50 °С.

Динамичность развития дорожно-строительной отрасли характеризуется не только числом публикаций, в которых изложены современные научные разработки и передовой отраслевой опыт, нацеленные на решение актуальных производственных задач, но и современными подходами к проектированию асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей. Актуальность рассматриваемой тематики отражена в нормативной базе, которую можно условно разделить на три группы:

1) Классическая система проектирования, базирующаяся на расчете оптимального соотношения компонентов для заданного вида и соответствующей марки асфальтобетона, в резуль-

тате которого показатели основных характеристик композита будут отвечать техническим нормам и требованиям:

– ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия»;

– ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия»;

2) Метод проектирования асфальтобетонных смесей по Маршаллу, главный принцип которого заключается в предварительном установленном соответствии исходных минеральных материалов и их объемных свойств, а также битума требованиям технических условий:

– ГОСТ Р 58406.1-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»;

– ГОСТ Р 58406.2-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»;

3) Система объемно-функционального проектирования («Supergave»), представляющая собой технические условия и метод проектирования составов асфальтобетонных смесей с учетом процессов нелинейного деформирования и разрушения. В данной системе используется совершенно иной принцип уплотнения смеси, что дает возможность в лаборатории моделировать эксплуатационные характеристики дорожного покрытия:

– ГОСТ Р 58401.2-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования»;

– ГОСТ Р 58401.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования».

Несмотря на наличие трех отдельных групп нормативных документов по проектированию асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей, отбор проб, методы испытаний и требования к минеральным порошкам в России регулируются, как отмечалось выше, двумя ГОСТ.

Также, в рамках методологии по объемно-функциональному проектированию разработан перечень нормативных документов по испытаниям минеральных материалов для пригото-

вления асфальтобетонных смесей, которые позволяют получить дополнительную информацию о минеральном порошке:

а) пустоты Ригдена – это общее количество пустот в образце из минерального порошка после его уплотнения в аппарате Ригдена, выраженное в процентах от объема (ГОСТ Р 58402.7-2019);

б) максимальная плотность минерального порошка – масса единицы объема материала без учета пор и воздушных пустот (ГОСТ Р 58402.8-2019).

Необходимо отметить, важную особенность, в соответствии с переходом отрасли на проектирование асфальтобетонных смесей по Маршаллу и методологии объемно-функционального проектирования, в технических условиях на асфальтобетоны в части требований к минеральному порошку появилась информация о допустимости использования материала из системы пылеулавливания полностью взамен минерального порошка или частично, чего ранее не допускалось.

Как известно, одним из важных этапов, предшествующих проведению испытаний, является отбор пробы материала. Точность и достоверность результата испытаний, во многом зависят не только от современного оборудования и опыта специалистов, но и от соблюдения требований к методологии отбора проб. Основные действующие требования по отбору проб минерального порошка представлены в таблице 1.

Для сравнения в американской и европейской нормативной базе (AASHTO, ASTM и EN) также прописывается необходимость получения объединенной усредненной пробы материала, но дополнительно приводятся различные методики отбора проб, зависящие, главным образом, от места, где происходит отбор:

- а) движущаяся конвейерная лента;
- б) неподвижная конвейерная лента;
- в) штабель;
- г) автомобильный и железнодорожный транспорт;
- д) мешки и другие мелкие контейнеры (только в EN 932-1).

Согласно стандартам AASHTO T 2 и ASTM D 75 объединенная проба формируется путем объединения не менее 3-х точечных проб приблизительно одинаковой массы, отобранных случайным образом в соответствии с ASTM D 3665.

Изучая список требований к любому минеральному порошку, входящему в состав строительного композита, можно сделать вывод о важности его роли в процессах формирования структуры и свойств конечной продукции.

Анализ таблицы 1 демонстрирует, что число пунктов отбора проб минерального порошка для испытания на соответствие требованиям ГОСТ

относительно иностранных аналогов крайне ограничено, несмотря на важность компонента в формировании структуры асфальтобетона. В данном случае наибольшую важность будет иметь влажность компонента и его гранулометрический состав, который может измениться

ввиду комкования дисперсной составляющей асфальтобетонной смеси. Таким образом, для получения стабильных характеристик АВВ в структуре асфальтобетонов необходимо увеличение числа пунктов отбора проб, включенных непосредственно в технологический процесс приготовления смеси.

Таблица 1

Отбор проб минерального порошка в соответствии с ГОСТ 32761-2014 и ГОСТ Р 52129-2003

Наименование критерия	Контроль качества МП осуществляет:	
	предприятие-изготовитель	потребитель
Вид пробы:	объединенная проба	
Масса пробы:	для приемочного контроля ≥ 1 кг для периодического контроля ≥ 3 кг.	≥ 7 кг
Состав пробы:	не менее 4 точечных проб: – масса каждой ≥ 500 г при интервале отбора в 1 ч; – масса каждой ≥ 1000 г при интервале отбора в 2 ч; – масса каждой ≥ 1500 г при интервале отбора в 3 ч;	точечные пробы: – по 1-ой точечной пробе при разгрузке каждого автомобиля; – 5-ть точечных проб при разгрузке каждого вагона
Место отбора пробы:	расходный (накопительный) бункер или технологическая линия	автомобильный транспорт железнодорожный транспорт
Частота отбора проб:	через 30 мин после начала выпуска порошка и далее через каждый час в течение смены (интервал отбора может быть увеличен)	при разгрузке каждого автомобиля; через равные интервалы времени 5-ть точечных проб при разгрузке каждого вагона (выбор вагона осуществляют методом случайного отбора)
Подготовка пробы:	точечные пробы тщательно перемешивают и сокращают методом последовательного квартования в два раза, в четыре раза и т.д. до получения объединенная проба необходимой массы	
Подготовка пробы для испытаний:	На каждую пробу составляют акт отбора, содержащий наименование и обозначение материала, место и дату отбора пробы и подписи лиц, ответственных за отбор проб. Отобранные пробы упаковывают таким образом, чтобы масса и свойства порошка не изменились до проведения испытания. Каждую пробу снабжают двумя этикетками с обозначением пробы: одну этикетку помещают внутрь упаковки, другую закрепляют на видном месте упаковки. При транспортировании пробы следует обеспечить сохранность упаковки и этикеток.	
Срок хранения пробы:	≥ 3 месяцев	

В рамках данного вопроса целесообразно провести анализ требований, предъявляемых сегодня к минеральным порошкам отечественной отраслевой наукой, таблица 2.

Наиболее важной из характеристик минеральных порошков является их гранулометрический состав. Как видно, ГОСТ 32761 более требователен к гранулометрическому составу, по сравнению с ГОСТ Р 52129, т.е. минеральный порошок стал более дисперсным, что свидетельствует в пользу необходимости более тщательно контролировать его качество в технологической цепочке приготовления смеси.

Кроме того, в ГОСТ 32761-2014 введены и расширены требования по показателям битумо-

емкости, влажности, содержания водорастворимых соединений и полуторных окислов для минеральных порошков всех марок. Остальные требования, предъявляемые к минеральным порошкам идентичны.

Важной отличительной чертой асфальтобетонов, проектируемых по системе объёмно-функционального проектирования, является наличие нового отраслевого термина, ранее не используемого и неопределяемого - «отношение пыль/вяжущее». Это коэффициент Н, определяемый отношением содержания дисперсной части смеси, прошедшей через сито №0,063 мм к эффективному количеству битумного вяжущего в составе проектируемого композита. В соответствии с нормативной документацией, величина Н

должна находиться в интервале 0,8–1,6. Таким образом, привычное понятие АВВ, показатели свойств которого оценивались по водостойкости

и набуханию, табл. 2, несколько трансформируется.

Таблица 2

Требования НД, предъявляемые к минеральным порошкам

Наименование показателя		ГОСТ 9128; 31015			ГОСТ Р 58401.1; 58401.2, 58406.1; 58406.2			
		ГОСТ Р 52129-2003*			ГОСТ 32761-2014**			
		МП-1 актив.	МП-1 не-актив.	МП-2	МП-1	МП-2	МП-3	
Зерновой состав, [% по массе]	< 2,000 мм	—	—	—	100	100	100	основные требования
	< 1,250 мм	100	100	≥ 95	—	—	—	
	< 0,315 мм	≥ 90	≥ 90	80-95	—	—	—	
	< 0,125 мм	—	—	—	≥ 85	≥ 85	≥ 75	
	< 0,071 мм	≥ 80	70-80	≥ 60	—	—	—	
	< 0,063 мм	—	—	—	≥ 70	≥ 70	≥ 60	
Пористость, [%]		≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 30	≤ 35	≤ 40	дополнительные требования
Битумоемкость, [г]		не норм.	не норм.	≤ 80	≤ 50	≤ 65	≤ 80	
Влажность, [% по массе]		не норм.	≤ 1,0	≤ 2,5	≤ 0,5	≤ 1,0	≤ 2,5	
Водостойкость образцов из смеси минерального порошка с битумом, [%]		не норм.	не норм.	≥ 0,7	не норм.	не норм.	≥ 0,7	
Набухание образцов из смеси минерального порошка с битумом, [%]		≤ 1,8	≤ 2,5	≤ 3,0	≤ 1,8	≤ 2,5	≤ 3,0	
Содержание водорастворимых соединений, [% по массе]		—	—	—	не норм.	не норм.	≤ 6,0	
Содержание полуторных окислов, [% по массе]		—	—	—	≤ 7,0	≤ 1,7	≤ 1,7	
Примечания:								
* – В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,071 мм допускается на 5 % меньше указанного в таблице.								
** – В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,063 мм допускается на 5 % меньше указанного в таблице.								

При этом, в соответствии с накопленным мировым опытом [45–49], было установлено, что величина показателя Н оказывает существенный вклад в формирование набора эксплуатационных параметров асфальтобетонных типов SP, таких как водостойкость, глубина колеи, число текучести и, в общем, на усталостные свойства композита.

Вывод. Подводя итог выполненному анализу роли минерального порошка в современной системе проектирования асфальтобетонных смесей необходимо отметить, что несмотря на увеличение внимания к характеристикам минеральных порошков, оценка качества асфальтового вяжущего вещества, являющегося наиболее значимой составляющей асфальтобетона, в настоящее время, не нашла должного отражения в нормативной документации.

В связи с этим, интерес представляет разработка качественной и количественной оценки

влияния различных по природе минеральных порошков на структурирование битумных вяжущих и, как следствие, изменение их реологических свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ярмолинская Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. 337 с.
2. Ahverdieva T.A., Jafarov R. Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete // Stroitel'nye Materialy (Construction Materials). 2020. № 3. 76. doi: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79
3. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y. The application of nanostructured modifier additives based on zeolitebearing tuffs in asphalt // Materials

Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 471–476. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.471

4. Lebedev M. S., Kozhukhova M. I., Yakovlev E. A. The Effect of Composition and Fineness of Mineral Fillers on Structure of Asphalt Binder // Materials Science Forum. 2021. Vol. 1017. Pp. 81–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.81

5. Yadykina V. V., Kuznetsova E. V., Lebedev M. S. Effect of Mineral Filler Modification on the Intensity of Bitumen Aging // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 189–194. doi: 10.1007/978-3-030-68984-1_28

6. Shekhovtsova S., Korolev E., Inozemtsev S., Vysotskaya M. Sedimentationally resistant nanosuspension for efficient polymer modified bitumen // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction. The Formation of Living Environment. 2018. P. 032008.

7. Inozemtsev S., Korolev E. Method of modifying of mineral fillers for asphalt concrete by calcium polysulfide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the XXVIII R-P-S Seminar 2019. Faculty of Civil Engineering of University of Žilina. 2019. 012136.

8. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 4(115). С. 536–443. doi: 10.22227/1997-0935.2018.4.536-543

9. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtsev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. №. 5(89). Pp. 129–140. doi: 10.18720/MCE.89.11

10. Inozemtsev S., Korolev E. Surface modification of mineral filler using nanoparticles for asphalt application // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 17–21 september 2018 years. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. 04052. doi: 10.1051/mateconf/201819604052

11. Горбунов Г.И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов). Учеб. пособие для студентов вузов. М.: «АСВ», 2002 (ППП Тип. Наука). 167 с.

12. Волков М. И., Борщ И.М., Грушко И.М. Дорожно-строительные материалы. Издание 5-е, перераб. и доп. М.: «Транспорт», 1975. 528 с.

13. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. Учеб. пособие для строительных ВУЗов. М.: «Высшая школа», 1969. 399 с.

14. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1978. 309 с.

15. Горельшев Н.В. Исследование асфальтобетона каркасной структуры и его эксплуатационных свойств в дорожных одеждах: автореф. дис. ... д-ра техн. Наук. М., 1978. 36 с.

16. Сахаров П.В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей // Транспорт и дороги города. 1935. №12. С. 22–26.

17. Грушко И.М., Королёв И.В. Дорожно-строительные материалы. 2-е издание, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1991. 357 с.

18. Гезенцев Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И. В. Дорожный асфальтобетон. Под. ред. Л.Б. Гезенцева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 350 с.

19. Ликомаскина М.А., Алнаиф М.С.Р., Сальникова А.И., Миронов А.А. Исследование влияния минеральных порошков различного химико-минералогического состава на свойства асфальтобетонных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 53–63.

20. Мойсеенко С.В., Самайлова Е.Э. Изучение начальных стадий взаимодействия битума с поверхностью минерального порошка // Сборник докладов Седьмой Международной научной конференции «Химическая термодинамика и кинетика», Великий Новгород. 2017. С. 198–199.

21. Крестина М.О., Орехов С.А., Дергунов С.А., Сатюков А.Б. Современный подход к проектированию составов асфальтобетонов. Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 21.1 (155.1). С. 144–145. URL: <https://moluch.ru/archive/155/44226/> (дата обращения: 28.06.2021).

22. Доля А.Г., Попов Р.К., Северин Д.В., Терещенко А.О., Катерина А.В. Влияние минеральных порошков различной природы получения на свойства асфальтобетона // Вестник донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 1. С. 114–118.

23. Солдатов А.А., Субботин А.Е., Цуканов Н.Н. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и техногенных отходов промышленности в качестве минерального порошка для дорожных асфальтобетонов // Научно-практические исследования. 2019. № 7-4. С. 88–90.

24. Иноземцев С.С., Поздняков М.К., Королев Е.В. Исследование адсорбционно-сольватного слоя битума на поверхности минерального порошка // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 159–167. doi: 10.22227/1997-0935.2012.11.159-167

25. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Эксплуатационные свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 29–39. doi: 10.22227/1997-0935.2015.3.29-39

26. Высоцкая М.А., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А. Известь в асфальтобетоне – такая простая и сложная // *Строительные материалы*. 2006. № 3. С. 56–59.
27. Ковалев Н.С., Куликова Е.В. Прогнозирование сроков службы асфальтобетонных покрытий с углеродсодержащим материалом // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2016. № 3. С. 165–174. doi: 10.17238/issn2071-2243.2016.3.165
28. Кривonos О.И., Терехова Е.Н., Галдина В.Д., Плаксин Г.В. Исследование минеральных компонентов горючих сланцев и их углеродминеральных остатков при термолизе // *Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. Вып. 3. С. 69–73.
29. Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривonos О.И., Плаксин Г.В. Асфальтобетоны на основе минеральных материалов из твердых углеродсодержащих продуктов горючих сланцев // *Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территория Сибири и Арктики: вклад науки. Материалы международной научно-практической конференции: электронный ресурс, Омск*. 2014. С. 14–17.
30. Подольский В.П. Влияние углеродсодержащего минерального порошка на эксплуатационные свойства песчаного асфальтобетона // *Повышение долговечности транспортных сооружений и безопасности дорожного движения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Казань: КГАСУ, 2008*. С. 26–31.
31. Ковалев Н.С., Быкова Я.А. Исследование усталостной долговечности асфальтобетона с углеродсодержащим материалом при циклическом динамическом нагружении // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2008. Вып. 12. С. 62–67.
32. Надыкто Г.И., Галдина В.Д., Гурова Е.В. Минеральный порошок из угольных сланцев // *Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство»*, Омск. 2018. С. 360–463.
33. Битуев А.В., Печерский С.А., Калашников П.И. Применение молотого боя асбестоцементных изделий в качестве минерального порошка асфальтобетона // *Вестник ВСГУТУ*. № 4. 2017. С. 86–91.
34. Волченко А.И., Хиленко Е.П., Надыкто Г.И. Минеральный порошок для дорожных асфальтобетонов из вторичных продуктов производства талька // *Техника и технологии строительства*. 2017. № 1. С. 115–121.
35. Грехов П.И., Суханов А.М., Пономарев В.А., Смоленцов С.В. Применение минеральных порошков природного происхождения для производства асфальтобетонов // *Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования» под общей редакцией С.Ф. Сухановой*, Курган. 2018. С. 67–69.
36. Худякова Л.И., Войлошников О.В. Перспективы использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка для асфальтобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 50–53.
37. Vysotskaya M., Vdovin E., Kuznetsov D., Shiryayev A. Alternative mineral powders for asphalt concrete // *II International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2021)*. 2021. Vol. 169. P. 297-307. doi: 10.1007/978-3-030-80103-8_32
38. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Особенности взаимодействия альтернативных дисперсных пористых минеральных материалов с органическим вяжущим // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2019. № 4 (724). С. 35–46.
39. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Реакционная способность альтернативных минеральных дисперсных материалов как инструмент для разработки эффективных дорожных композитов // *Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 282–288. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-282-288
40. Злобин С.В., Борисенко Ю.Г. Теоретические основы возможности использования в асфальтобетонах минеральных порошков на основе высокодисперсных пористых материалов // *Интернаука*. 2017. № 11-1 (15). С. 14–16.
41. Высоцкая М.А., Фёдоров М.Ю. Разработка наномодифицированного наполнителя для асфальтобетонных смесей // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. 2013. № 6. С. 61–65.
42. Загородняя А.В. О целесообразности определения оптимальной концентрации полимера на поверхности минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси // *Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении*. 2019. № 1. С. 84–89.
43. Manandhar C., Hossain M., Nelson P., Hobson C. Estimation of Lives of Deficient Superpave Pavements // *Transportation Research Record*. 2008. Is. 2081. №1. Pp. 83–91. doi:10.3141/2081-09
44. Nepomuceno M.C.S., Pereira-de-Oliveira L.A., Lopes S.M.R. Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral

additions in binary blends of powders // Construction and Building Materials. 2014. Is. 64. Pp. 82–94. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021

45. Duval J., Barnes S., Weber B., Liva G. Montana Moves to Volumetric Acceptance for Superpave // Asphalt. 2007. Т. 22. №. 2. Pp. 32–35.

46. Abdelrahman M.A., Jansen W.G., Salem H.M. Binder Flushing in Low Traffic Volume Superpave Mixes // International Journal of Pavement Research and Technology. 2008. Vol. 1. № 4. Pp. 121–128.

47. Tarefder R.A., Zaman A.M., Uddin W. Determining hardness and elastic modulus of asphalt by nanoindentation // International Journal of Geomechanics. 2010. Vol. 10. №. 3. Pp. 106–116. doi: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000048

48. Hossain M., Chen J.Z. Optimization of Superpave mixture volumetric properties // International Journal of Pavement Engineering. 2002. Vol. 3. №. 2. Pp. 63–69.

49. Huber G. History of asphalt mix design in North America, Part II: Superpave // Asphalt. 2013. Vol. 28. №. 2. Pp. 25–29.

Информация об авторах

Ширяев Артём Олегович, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: shiryayev.ao@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: roruri@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 04.10.2021 г.

© Ширяев А.О., Высоцкая М.А., 2022

Shiryayev A.O., *Vysotskaya M.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: roruri@rambler.ru*

MINERAL POWDER IN A MODERN DESIGN SYSTEM OF ASPHALT CONCRETE

Abstract. *Within the framework of this article, the potential raw material base for obtaining mineral powders for the production of asphalt concrete mixtures is analyzed. The main stages of structure formation in asphalt concrete in the process of interaction of a bitumen binder with mineral materials are considered. Within the boundaries of modern approaches to the design of asphalt concrete mixtures, an assessment of the current regulatory framework is carried out in relation to the requirements for the indicators of the properties of mineral powders and the sampling methodology for assessing their quality. According to the research, despite the increased attention to the characteristics of mineral powders, the requirements for the methodological approach to sampling mineral powder and the quality assessment of the binary system "bituminous binder - mineral powder" or asphalt binder, which is the most significant component of asphalt concrete, is currently weak elaborated in the normative documentation. In the light of modern approaches to the design system of asphalt concrete mixtures, including the methodology of volumetric-functional design, it is of interest to develop a qualitative and quantitative assessment of the effect of mineral powders of different nature on the structuring of bituminous binders and, as a consequence, a change in their rheological properties.*

Keywords: *mineral powder, asphalt binder, asphalt concrete mixtures, regulatory framework, volumetric-functional design system*

REFERENCES

1. Yarmolinskaya N.I. Road asphalt concrete with the use of mineral powders from industrial waste products: textbook. allowance. 2nd ed., Rev. and add [Dorozhnyy asfaltobeton s primeneniym mineralnykh poroshkov iz tekhnogennykh otkhodov promyshlennosti: ucheb. posobiye. 2-e izd.. pererab. i dop.]. Khabarovsk: Pacific Publishing House. state University, 2007. 337 p. (rus)

2. Ahverdieva T. A., Jafarov R. Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete // Stroitel'nye Materialy (Construction Materials). 2020. No. 3. Pp. 76. doi: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79

3. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y. The application of nanostructured modifier additives based on zeolitebearing tuffs in asphalt. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 471–476. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.471

4. Lebedev M.S., Kozhukhova M.I., Yakovlev E.A. The Effect of Composition and Fineness of Mineral Fillers on Structure of Asphalt Binder. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1017. Pp. 81–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.81
5. Yadykina V.V., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Effect of Mineral Filler Modification on the Intensity of Bitumen Aging. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 147. Pp. 189–194. doi: 10.1007/978-3-030-68984-1_28
6. Shekhovtsova S., Korolev E., Inozemtsev S., Vysotskaya M. Sedimentationally resistant nanosuspension for efficient polymer modified bitumen. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 21, Construction. The Formation of Livng Environment. 2018. 032008.
7. Inozemtsev S., Korolev E. Method of modifying of mineral fillers for asphalt concrete by calcium polysulfide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Collection of materials of the XXVIII R-P-S Seminar 2019. Faculty of Civil Engineering of University of Žilina. 2019. 012136.
8. Inozemtsev S.S., Korolev E. V. Technical and economic efficiency of the use of nanomodified filler for asphalt concrete [Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost primeneniya nanomodifitsirovannogo napolnitelya dlya asfaltobetona]. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. No. 4(115). Pp. 536–443. doi: 10.22227/1997-0935.2018.4.536-543 (rus)
9. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtsev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. No. 5(89). Pp. 129–140. doi: 10.18720/MCE.89.11
10. Inozemtsev S., Korolev E. Surface modification of mineral filler using nanoparticles for asphalt application. *MATEC Web of Conferences*, Rostov-on-Don, 17–21 september 2018 years. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. 04052. doi: 10.1051/mateconf/201819604052
11. Gorbunov G.I. Fundamentals of building materials science (composition, chemical bonds, structure and properties of building materials). Textbook. manual for university students [Osnovy stroitel'nogo materialovedeniya (sostav. khimicheskiye svyazi. struktura i svoystva stroitel'nykh materialov). Ucheb. posobiye dlya studentov vuzov]. M.: "ASV", 2002 (PPP Type. Science). 167 p. (rus)
12. Volkov M. I., Borshch I. M., Grushko I. M. Road construction materials. Edition 5, rev. and add [Dorozhno-stroitel'nyye materialy. Izdaniye 5-e. pererab. i dop]. M.: "Transport", 1975. 528 p. (rus)
13. Rybiev I.A. Asphalt concrete. Textbook. manual for construction universities [Asfaltovyye betony. Ucheb. posobiye dlya stroitel'nykh VUZov]. M.: "High school", 1969. 399 p. (rus)
14. Rybiev I.A. Building materials based on binders [Stroitel'nyye materialy na osnove vyazhushchikh veshchestv]. M.: Higher school, 1978.309 p. (rus)
15. Gorelyshev N.V. Research of asphalt concrete frame structure and its operational properties in road clothes: author. dis. ... Dr. Tech. Science [Issledovaniye asfaltobetona karkasnoy struktury i ego ekspluatatsionnykh svoystv v dorozhnykh odezhdakh: avtoref. dis. ... d-ra tekhn.nauk]. M., 1978.36 p. (rus)
16. Sakharov P.V. Methods for designing asphalt concrete mixtures [Sposoby proyektirovaniya asfaltobetonnnykh smesey. Transport i dorogi goroda]. *Transport and city roads*. 1935. No. 12. Pp. 22–26. (rus)
17. Grushko I.M., Korolev I.V. Road construction materials. 2nd edition, rev. and add. [Dorozhno-stroitel'nyye materialy. 2-e izdaniye. pererab. i dop.] Moscow: Transport, 1991. 357 p. (rus)
18. Gezentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Road asphalt concrete. Under. ed. L. B. Gesenzvey. 2nd ed., Rev. and add. [Dorozhnyy asfaltobeton. Pod. red. L.B. Gezentsveya. 2-e izd.. pererab. i dop.] Moscow: Transport, 1985. 350 p. (rus)
19. Likomaskina M.A., Alnaif M.S., Salnikova A.I., Mironov A.A. Research of the influence of mineral powders of various chemical and mineralogical composition on the properties of asphalt concrete mixtures [Issledovaniye vliyaniya mineralnykh poroshkov razlichnogo khimiko-mineralogicheskogo sostava na svoystva asfaltobetonnnykh smesey]. *Regional architecture and construction*. 2017. No. 2. Pp. 53–63. (rus)
20. Moiseenko S.V., Samaylova E.E. Study of the initial stages of interaction of bitumen with the surface of a mineral powder [Izucheniye nachal'nykh stadiy vzaimodeystviya bituma s poverkhnostyu mineralnogo poroshka]. Collection of reports of the Seventh International Scientific Conference "Chemical Thermodynamics and Kinetics", Veliky Novgorod. 2017. Pp. 198–199. (rus)
21. Kretinina M.O., Orekhov S.A., Dergunov S.A., Satyukov A.B. Modern approach to the design of asphalt concrete compositions. Text: direct [Sovremennyy podkhod k proyektirovaniyu sostavov asfaltobetonov. Tekst : neposredstvenniy]. *Young scientist*. 2017. No. 21.1 (155.1). Pp. 144–145. URL: <https://moluch.ru/archive/155/44226/> (date accessed: June 28, 2021). (rus)
22. Dolya A.G., Popov R.K., Severin D.V., Tereshchenko A.O., Katerinina A.V. Influence of mineral powders of various nature of production on the properties of asphalt concrete [Vliyaniye mineralnykh poroshkov razlichnoy prirody polucheniya na

svoystva asfaltobetona]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2018. No.1. Pp. 114–118. (rus)

23. Soldatov A.A., Subbotin A.E., Tsukanov N.N. Experience in the use of substandard powdery materials and industrial waste as a mineral powder for road asphalt concrete [Opyt primeneniya nekon-ditsionnykh poroshkoobraznykh materialov i tekhnogennykh otkhodov promyshlennosti v kachestve mineralnogo poroshka dlya dorozhnykh asfaltobetonov]. Scientific and practical research. 2019. No. 7-4. Pp. 88–90. (rus)

24. Inozemtsev S.S., Pozdnyakov M.K., Korolev E.V. Research of the adsorption-solvation layer of bitumen on the surface of a mineral powder [Issledovaniye adsorbtsionno-solvatnogo sloya bituma na poverkhnosti mineralnogo poroshka]. Vestnik MGSU. 2012. No. 11. Pp. 159–167. doi: 10.22227 / 1997-0935.2012.11.159-167 (rus)

25. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Operational properties of nanomodified crushed stone-mastic asphalt concrete [Ekspluatatsionnyye svoystva nanomodifitsirovannykh shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonov]. Vestnik MGSU. 2015. No. 3. Pp. 29–39. doi: 10.22227 / 1997-0935.2015.3.29-39 (rus)

26. Vysotskaya M.A., Yadykina V.V., Kuznetsov D.A. Lime in asphalt concrete - so simple and complex [Izvest v asfaltobetone – takaya prostaya i slozhnaya]. Stroitelnye materialy. 2006. No. 3. Pp. 56–59. (rus)

27. Kovalev N.S., Kulikova E.V. Forecasting the service life of asphalt concrete pavements with carbon-containing material [Prognozirovaniye srokov sluzhby asfaltobetonnykh pokrytiy s ugle-rod-soderzhashchim materialom]. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2016. No. 3. Pp. 165–174. doi: 10.17238 / issn2071-2243.2016.3.165 (rus)

28. Krivonos O.I., Terekhova E.N., Galdina V.D., Plaksin G.V. Study of mineral components of oil shale and their carbon-mineral residues during thermolysis [Issledovaniye mineralnykh komponentov goryuchikh slantsev i ikh ugle-rod-mineralnykh ostatkov pri termolize]. Chemistry and chemical technology. 2015. Vol. 58. Issue. 3. Pp. 69–73. (rus)

29. Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Plaksin G.V. Siberia and the Arctic: the contribution of science [Asfaltobetonny na osnove mineralnykh materialov iz tverdykh ugle-rod-soderzhashchikh produktov goryuchikh slantsev]. Materials of the international scientific and practical conference: electronic resource, Omsk. 2014. Pp. 14–17. (rus)

30. Podolskiy V.P. Influence of carbon-containing mineral powder on the operational properties of

sandy asphalt concrete [Vliyaniye ugle-rod-soderzhashchego mineralnogo poroshka na ekspluatatsionnyye svoystva peschanogo asfaltobetona]. Increasing the durability of transport structures and road safety: collection of articles. scientific. tr. Vse-ros. scientific-practical conf. Kazan: KGASU, 2008. Pp. 26–31. (rus)

31. Kovalev N.S., Bykova Ya.A. Investigation of the fatigue life of asphalt concrete with carbon-containing material under cyclic dynamic loading [Issledovaniye ustalostnoy dolgovechnosti asfaltobetona s ugle-rod-soderzhashchim materialom pri tsiklicheskom dinamicheskom nagruzhении]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Building and architecture. 2008. Issue. 12 Pp. 62–67. (rus)

32. Nadykto G.I., Galdina V.D., Gurova E.V. Mineral powder from coal shale [Mineralnyy poroshok iz ugolnykh slantsev]. Collection of scientific papers of the national scientific-practical conference "Education. Transport. Innovation. Construction ", Omsk. 2018. Pp. 360–463. (rus)

33. Bituev A.V., Pechersky S.A., Kalashikov P.I. Application of ground crushed asbestos cement products as a mineral powder of asphalt concrete [Primeneniye molotogo boya asbestotsementnykh izdeliy v kachestve mineralnogo poroshka asfaltobetona]. Vestnik VSGUTU. No. 4. 2017. Pp. 86–91. (rus)

34. Volchenko A.I., Khilenko E.P., Nadykto G.I. Mineral powder for road asphalt concrete from secondary products of talc production [Mineralnyy poroshok dlya dorozhnykh asfaltobetonov iz vtorichnykh produktov proizvodstva talka]. Engineering and construction technologies. 2017. No. 1. Pp. 115–121. (rus)

35. Grekhov P.I., Sukhanov A.M., Ponomarev V.A., Smolentsov S.V. The use of mineral powders of natural origin for the production of asphalt concrete [Primeneniye mineralnykh poroshkov prirodnogo proiskhozhdeniya dlya proizvodstva asfaltobetonov]. Collection of articles based on the materials of the II All-Russian scientific-practical conference "Problems and prospects of development civil engineering science and education "edited by S.F. Sukhanova, Kurgan. 2018. Pp. 67–69. (rus)

36. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. Prospects for the use of serpentized rocks as a mineral powder for asphalt concrete [Perspektivy ispolzovaniya serpentinirovannykh porod v kachestve mineralnogo poroshka dlya asfaltobetona]. Construction materials. 2017. No. 9. Pp. 50–53. (rus)

37. Vysotskaya M., Vdovin E., Kuznetsov D., Shiryaev A. Alternative mineral powders for asphalt concrete. II International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering

(STCCE-2021). 2021. Vol. 169. Pp. 297–307. doi: 10.1007 / 978-3-030-80103-8_32

38. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu., Kuznetsov D.A. Features of the interaction of alternative dispersed porous mineral materials with an organic binder [Osobennosti vzaimodeystviya alternativnykh dispersnykh poristykh mineralnykh materialov s organicheskim vyazhushchim]. Izvestiya vysshikh educational institutions. Construction. 2019. No. 4 (724). P. 35–46. (rus)

39. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu., Kuznetsov D.A. Reactivity of alternative mineral dispersed materials as a tool for the development of effective road composites [Reaktsionnaya sposobnost alternativnykh mineralnykh dispersnykh materialov kak instrument dlya razrabotki effektivnykh dorozhnykh kompozitov]. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. Vol. 81. No. 1 (79). Pp. 282–288. doi: 10.20914 / 2310-1202-2019-1-282-288 (rus)

40. Zlobin S.V., Borisenko Yu.G. Theoretical foundations of the possibility of using mineral powders based on highly dispersed porous materials in asphalt concrete [Teoricheskiye osnovy vozmozhnosti ispolzovaniya v asfaltobetonakh mineralnykh poroshkov na osnove vysokodispersnykh poristykh materialov]. Internauka. 2017. No. 11-1 (15). Pp. 14–16. (rus)

41. Vysotskaya M.A., Fedorov M.Yu. Development of nanomodified filler for asphalt concrete mixtures [Razrabotka nanomodifitsirovannogo napolnitelya dlya asfaltobetonnykh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 61–65. (rus)

42. Zagorodnyaya A.V. On the expediency of determining the optimal concentration of the polymer on the surface of a mineral powder in the composition of an asphalt concrete mixture [O

tselesoobraznosti opredeleniya optimalnoy kontsentratsii polimera na poverkhnosti mineralnogo poroshka v sostave asfaltobetonnoy smesi]. Resource-saving technologies of production and processing of materials by pressure in mechanical engineering. 2019. No. 1. Pp. 84–89. (rus)

43. Manandhar C., Hossain M., Nelson P., Hobson C. Estimation of Lives of Deficient Superpave Pavements. Transportation Research Record. 2008. Is. 2081. No. 1. Pp. 83–91. doi: 10.3141 / 2081-09

44. Nepomuceno M.C.S., Pereira-de-Oliveira L.A., Lopes S.M.R. Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. Construction and Building Materials. 2014. Is. 64. Pp. 82–94. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021

45. Duval J., Barnes S., Weber B., Liva G. Montana Moves to Volumetric Acceptance for Superpave. Asphalt. 2007. Vol. 22. No. 2. Pp. 32–35.

46. Abdelrahman M.A., Jensen W.G., Salem H.M. Binder Flushing in Low Traffic Volume Superpave Mixes. International Journal of Pavement Research and Technology. 2008. Vol. 1. No. 4. Pp. 121–128.

47. Tarefder R.A., Zaman A.M., Uddin W. Determining hardness and elastic modulus of asphalt by nanoindentation. International Journal of Geomechanics. 2010. Vol.10. No.3. Pp. 106–116. doi: 10.1061 / (ASCE) GM.1943-5622.0000048

48. Hossain M., Chen J. Z. Optimization of Superpave mixture volumetric properties. International Journal of Pavement Engineering. 2002. Vol. 3. No. 2. Pp. 63–69.

49. Huber G. History of asphalt mix design in North America, Part II: Superpave. Asphalt. 2013. Vol. 28. No.2. Pp. 25–29.

Information about the authors

Shiryayev, Artyom O. Postgraduate student. E-mail: shiryayev.ao@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vysotskaya, Marina A. PhD, Assistant professor. E-mail: roruri@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 04.10.2021

Для цитирования:

Ширяев А.О., Высоцкая М.А. Минеральный порошок в современной системе проектирования асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19

For citation:

Shiryayev A.O., Vysotskaya M.A. Mineral powder in a modern design system of asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19