

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-59-77

Коробейников Н.А., *Грищенко М.С., Катрич Я.М., Мешкова К.В.
 Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
 *E-mail: mishal10944@yandex.ru

МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК – КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Исследование посвящено анализу минеральных порошков, применяемых в составе асфальтобетонных смесей. Объектом изучения выступают порошки различного происхождения: карбонатные породы (известняк, доломит), цеолиты, перлит, промышленные отходы (зола-уноса, шлаки, осадки сточных вод), а также методы их активации. Особое внимание уделено влиянию химического состава, пористости и дисперсности минеральных наполнителей на свойства асфальтовяжущего вещества и асфальтобетона.

В работе применены методы сравнительного поисково-теоретического анализа и систематизации существующих российских и зарубежных исследований минеральных порошков различной природы, физико-механических характеристик асфальтобетонов на их основе, механической и химической активации подобных порошков, оценки адгезии битума к минеральным компонентам. Рассмотрены технологии модификации наполнителей с использованием поверхностно-активных веществ, наноматериалов и гидрофобизаторов.

Установлено, что применение альтернативных порошков (на основе цеолитов, техногенных отходов) повышают прочность, водостойкость и термостабильность асфальтобетона на 20–30 %, органоминеральные порошки из осадков сточных вод уменьшают водонасыщение на 20 %, а использование шлаков и золы-уноса при производстве минеральных порошков способствует решению экологических задач через утилизацию отходов. Показано, что активация минеральных наполнителей снижает расход битума на 10–15 %, улучшает структурирование композита и увеличивает долговечность покрытий.

Ключевые слова: минеральные порошки, активация минеральных порошков, асфальтовяжущее вещество, гидрофобизация, асфальтобетон, структурирование асфальтобетона, вторичное использование отходов производства.

Введение. Асфальтобетон – это композиционный материал, представляющий собой уплотненную асфальтобетонную смесь, состоящую из каменного минерального заполнителя (щебня, песка или отсева дробления), наполнителя (минерального порошка) и органического вяжущего вещества в рационально подобранном количестве. Асфальтобетонная смесь, согласно классической теории структуры асфальтобетона [1],

слагается тремя макро-, мезо- и микроструктурами. Это значит, что асфальтобетон можно рассматривать как высоконаполненную полидисперсную систему (рисунок 1), где каждая структурная составляющая максимально влияет на устойчивость асфальтобетона к климатическим изменениям и механическим нагрузкам.

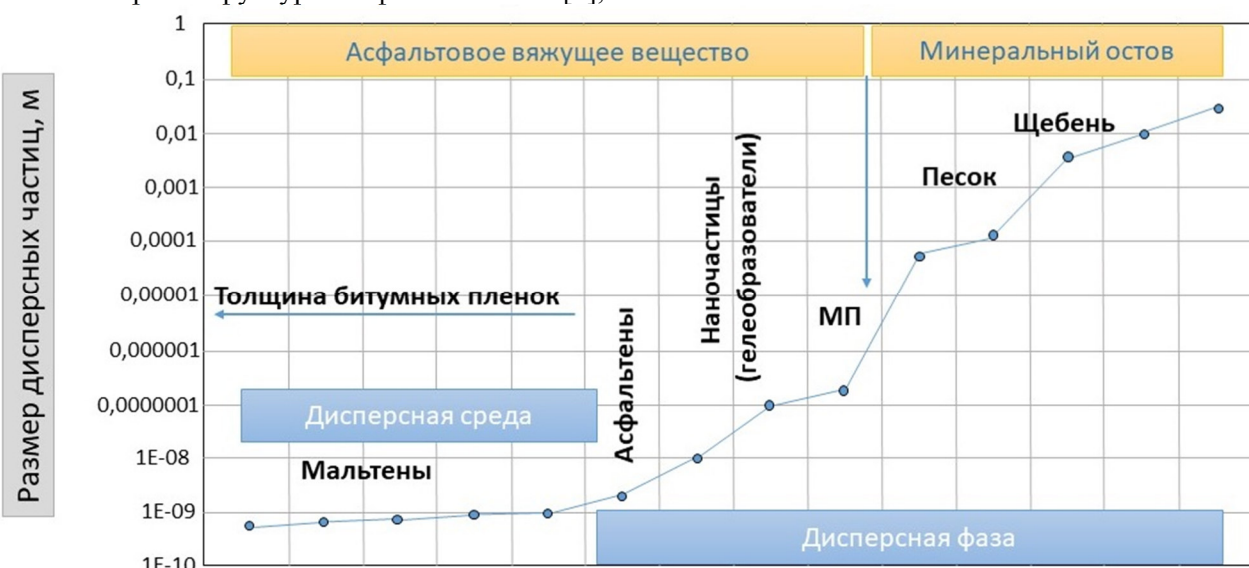


Рис. 1. Полидисперсность состава асфальтобетона [1]

Роль вяжущего вещества в асфальтобетоне выполняет не только битум, а совокупность систем «битум-минеральный порошок», т.е. асфальтовяжущее вещество (АВВ). Так, в асфальтобетонной смеси взаимодействие между минеральными компонентами смеси и битумным вяжущим происходит по их зоне контакта – поверхности минеральной части смеси. Этот контакт способствует переходу битума в пленочное или структурированное состояние. Ориентированный (структурированный) битум влияет на основные физико-механические свойства асфальтобетона [2–4], что обусловлено строением пленки битума на зерне минерального материала (рисунок 2).

В соответствии с теорией строения битумных пленок на поверхности минеральных материалов, наиболее активной структурной единицей, слагающей битум, по отношению к подложке являются асфальтены, содержащие активные функциональные группы. Ввиду этого, они

накапливаются в максимальном количестве в пограничной зоне (контактном слое), формируя структурированный слой битума. По мере удаления от поверхности минерального зерна концентрация асфальтенов падает и структурированный слой битума переходит в объемный. Есть мнение, что ввиду полярности асфальтены склонны соединяться между собой по полярным группам в цепочки и ориентироваться перпендикулярно к минеральной поверхности.

В переходных состояниях, наблюдающихся в битуме, минеральный порошок (МП) играет ключевую роль, т.к. именно асфальтовяжущее вещество, а не битум, связывает зерна песка и щебня в плотный и прочный монолит. Таким образом, минеральный порошок – важнейший структурообразующий компонент, на долю которого приходится до 90–95 % суммарной поверхности минеральных зерен смеси [4–7].

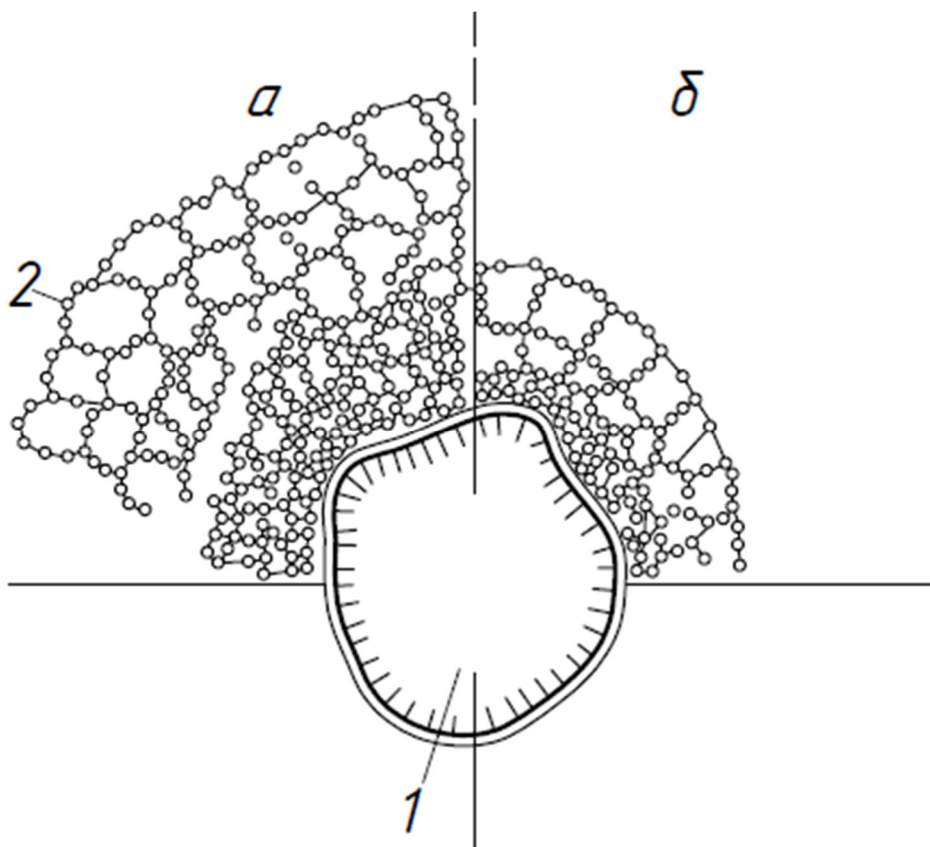


Рис. 2. Строение пленки битума на минеральном зерне:
а) при наличии объемного битума; б) при отсутствии объемного битума;
1 – зерно минерального порошка; 2 – объемный битум

Наивысшая прочность структурированной дисперсной системы достигается при определенном соотношении битума и минерального порошка. Так, при его определенной концентрации уменьшается толщина битумных слоев на по-

верхности минеральных частиц, что способствует высокой степени структурирования битума и упрочнению контактов между зернами [8–9].

На качество формирующегося АВВ влияет вязкость битума, а также природа минерального

порошка и его дисперсность, которые определяют коэффициент гидрофильности последнего. Пористость и дисперсность МП также влияют на плотность асфальтобетона и расход битума при приготовлении асфальтобетонных смесей.

Минеральный порошок, согласно исследованиям [8–9], определяет следующие свойства асфальтобетона:

1. повышает прочность асфальтобетона, но также увеличивает его хрупкость;
2. избыточное содержание минерального порошка снижает трещиностойкость и сдвигоустойчивость покрытий.

В области нормативной базы в настоящее время действуют два основных ГОСТа на минеральные порошки: ГОСТ 32761-2014 и ГОСТ Р 52129-2003. В соответствии с [6], источниками для получения минерального порошка могут выступать карбонатные горные породы (известняк, доломит), некарбонатные горные породы (туф, трепел, песчаник, гранит), твердые и порошковые отходы промышленного производства (золы-уноса, пыль цементных заводов, металлургические шлаки).

Повышение реакционной способности или интенсификации взаимодействия МП с битумом возможно посредством дополнительной обра-

ботки – активации, которая может быть химической, механической или термической. Таким образом, в дорожном строительстве различают активированные и неактивированные минеральные порошки [4–7].

Более подробно влияние природы минерального порошка, способов его получения и приемов активации на АБВ, асфальтобетон, и его свойства в целом изложены ниже.

Материалы и методы. В рамках исследования проведен анализ и систематизация данных современных научных работ, посвященных вопросам минеральных порошков и их применения в асфальтобетоне. Основное внимание уделено оценке механической прочности, водостойкости, термостабильности и долговечности композитов с использованием активированных и модифицированных наполнителей (известняковых, цеолитовых, техногенных и других типов). Библиометрический анализ проводился с использованием российского ресурса Elibrary и международной платформы Google Scholar. Выбор этих баз данных обусловлен их авторитетностью, широким охватом научных работ и возможностью получать репрезентативные данные по разным исследовательским направлениям. Результаты поиска по ключевым запросам (актуальные на февраль 2025 года) систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

Поиск по ключевым словам

Ключевое слово	Количество выданных результатов	
	Elibrary	Google Scholar
Минеральный порошок	2955	20600
Mineral powder	7287	48900
Асфальтовяжущее	163	236
Asphalt binder	5426	23100
Активация минеральных порошков	112	10100
Activation of mineral powders	84	16800
Гидрофобизация минеральных порошков	23	1070
Hydrophobization of mineral powders	5	18300
Минеральный порошок из вторичных отходов	198	7260
Mineral powder from secondary waste	655	42700

Данные в таблице отражают общее число результатов поиска без учета года публикации. Основной фокус сконцентрирован на исследованиях, опубликованных в последнее десятилетие. На первом этапе был проведен предварительный отбор статей и обзоров, связанных с исследуемой темой. На втором этапе поисковые запросы были сужены по тематическим категориям, что обеспечило более детальный анализ и фильтрацию пуб-

ликаций. Небольшой процент работ (5–10 %) соответствует критериям научной значимости и тематической релевантности.

Основная часть.

Влияние сырьевой базы на свойства минеральных порошков. Альтернативные минеральные порошки

Принято считать, что традиционным МП в дорожном строительстве является известняковый. Есть мнение [8], что минеральный порошок

из карбонатных пород с щелочным компонентом обеспечивает наилучшую «укрывистость» битумом. Известняк сложен преимущественно химически инертным кальцитом (CaCO_3), но способным формировать прочные физико-химические связи с полярными компонентами битума, такими как асфальтены, смолы и асфальтогеновые кислоты. Данный феномен объясняется тем, что в общем виде битумная пленка характеризуется отрицательным зарядом, а поверхность минерального порошка – положительным, что способствует формированию устойчивых адсорбционных связей. Также частицы известняковых минеральных порошков отличаются микропористой структурой и неровной поверхностью, что в совокупности с высокой удельной поверхностью, улучшает механическое сцепление с битумом и снижает риск отслоения пленки. Дополнительно, подобные МП отличаются низкой гидрофильностью. По сравнению с силикатными материалами (например, гранитом) известняк меньше адсорбирует влагу [8], что повышает конечную водостойкость асфальтобетона.

Преимущества применения известняковых минеральных порошков изложены в [10], где в качестве минерального порошка выступал дисперсный известняк с низким содержанием примесей ($\text{MnO} - 0,07\%$, $\text{K}_2\text{O} - 0,14\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,21\%$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,4\%$). В исследовании химический и элементный состав порошков изучался посредством рентгенофлуоресцентного анализа и электронной микроскопии, на основании чего был сделан вывод, что элементный состав известняка соответствует составу кальцита (CaCO_3), содержащего $56,04\%$ CaO и $43,96\%$ CO_2 , что позволило соотнести материал с чистой карбонатной породой. С использованием рассматриваемого дисперсного наполнителя была изготовлена и протестирована асфальтобетонная смесь по ГОСТ Р 58406.2-2020. В состав смеси также была включена адгезионная добавка. Результаты испытания продемонстрировали полное соответствие образцов асфальтобетона требованиям ГОСТ Р 58406.2-2020 и, в очередной раз, подтвердили тезис о влиянии карбонатных минеральных порошков на повышение механической прочности и упругих свойств асфальтобетона, а также, в целом, улучшение его эксплуатационных характеристик.

Однако, известняковые минеральные порошки не всегда обеспечивают наилучшее качество [11–13] получаемого асфальтобетона. Авторы [11–13] отмечают, что известняковый наполнитель не всегда эффективен в условиях высоких температур и интенсивных нагрузок, а его дороговизна в ряде регионов относительно

минеральных порошков, изготовленных из местных сырьевых ресурсов, диктует необходимость поиска альтернативных технических решений. Так, исследователи [11–13] предлагают использовать МП на основе конверсионного мела, являющегося побочным продуктом производства азотсодержащих удобрений. По химическому составу он близок к традиционному известняковому порошку, однако требует дополнительного дробления ввиду укрупненности частиц. Значимой отличительной чертой зерен конверсионного мела является сложный микрорельеф поверхности с большим количеством углублений, что увеличивает фактическую удельную поверхность зерна, а, следовательно, и структурирующую способность порошка, реализующуюся в виду избирательной адсорбции компонентов битума по системе микропор в наполнителе.

На основе исследований [11–13], отмечается, что конверсионный мел может стать альтернативой традиционному МП и решить проблемы утилизации отходов, а также снизить себестоимость асфальтобетона без потери качества. Но, есть нюанс: достижение обозначенных эффектов возможно только после дополнительного измельчения и активации сырья.

Согласно исследованию [8], для получения МП могут быть использованы кремниевые и базальтовые породы, содержащие $\text{SiO}_2 - 45-52\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 15-18\%$, $\text{Fe}_3\text{O}_4 - 8-15\%$, $\text{CaO} - 6-12\%$, $\text{MgO} - 5-7\%$. Отмеченные породы содержат значимое количество разнообразных минералов на основе щелочных металлов, что положительно сказывается на «укрывистости» битумом [8]. Соответственно, использование подобного вида сырья для получения МП повышает прочностные характеристики готового асфальтобетона и снижает себестоимость асфальтобетонной смеси.

Однако, есть и другое мнение. Исследования коллектива авторов [14–16] демонстрируют, что минеральные материалы с повышенным содержанием оксидов алюминия, калия и натрия отрицательно влияют на старение битума, снижая пластичность (растяжимость) вяжущего. Для уменьшения процессов старения предложено вводить ПАВ.

В отдельный блок можно выделить исследования, нацеленные на вовлечение пористого минерального сырья природного и техногенного происхождения для его переработки в минеральный порошок для асфальтобетонных смесей.

Так в исследованиях [16–20] предложено использовать природные цеолиты и бурый уголь для приготовления минеральных порошков. По полученным данным, минеральные порошки из природных цеолитов продемонстрировали уве-

личение структурирующей способности относительно контрольного известнякового порошка, что позволило увеличить прочность асфальтобетона на 30 % [21–25]. Достижение описанных эффектов стало возможно за счет высокоразвитой удельной поверхности наполнителя и наличия в его составе большего количества оксидов металлов [26–28].

Порошки из бурых углей, обеспечивая нормативную прочность, уступали образцам асфальтобетона, приготовленным на цеолитовом наполнителе. Очевидно, ввиду того, что их поверхность в меньшей степени содержит оксиды металлов, а, следовательно, по большей части заряжена нейтрально. Однако, закономерное снижение прочности асфальтобетона при 0°С может быть положительно оценено в регионах с холодным климатом. Отмечается, что у такого асфальтобетона будет наблюдаться повышенная способность к релаксации после нагрузки от транспортных средств.

В работах [16–17, 20–22] также рассматривается положительное изменение коэффициентов температурной чувствительности и теплостойкости асфальтобетона при применении подобных МП. Отмечается, что и цеолит, и бурый уголь могут являться достойной альтернативой известняковому минеральному сырью, а использование минеральных порошков из них позволит улучшить физико-механические свойства асфальтобетона и снизить стоимость производства дисперсного наполнителя [23, 27–28].

Также в качестве минерального порошка возможно использовать тонкодисперсные пористые наполнители на основе перлита, о чем говорится в работах [18–20, 23–24]. Высокая пористость наполнителей из перлита обусловлена развитой архитектурой пор, а увеличение содержания активных центров на его поверхности прямо пропорционально пористости. В виду совокупности указанных свойств, наполнители из перлита имеют высокую реакционную способность при контакте с битумом. Перлит, как и цеолит, обладает наибольшим количеством активных центров на поверхности, что способствует образованию прочных связей между битумной пленкой и поверхностью частиц минерального наполнителя [25–28].

Анализ работ [16–20] демонстрирует, что более перспективным сырьём для органоминеральных композитов являются цеолиты [21–23], благодаря их развитой удельной поверхности, уникальной архитектуре пор, высокой структурирующей и адсорбционной способности. Однако, для полной замены традиционного минерального порошка в асфальтобетонах необходим тщательный подбор и контроль состава смеси.

Использование цеолита и перлита целесообразно в качестве добавки к минеральному порошку [27–28].

В качестве МП также предлагается [29–31] использовать продукт помола сформированного цементного камня. В исследовании рассмотрено влияние степени гидратации цементного камня на свойства минерального наполнителя для асфальтобетонов, а также выполнена оценка возможности использования таких наполнителей в дорожном строительстве. Подобный подход может быть экономически и экологически выгодным решением, т.к. допускает использование отходов производства. В соответствии с выводами авторов [29–31], степень гидратации цемента в первичном изделии влияет на морфологию поверхности зерен минерального порошка, что, в свою очередь, влияет на его взаимодействие с битумом. Так, увеличение степени гидратации цемента приводит к снижению битумоемкости наполнителя по причине изменения изометричности поверхности зерен и увеличения объема микро- и мезопор. Использование минеральных порошков из цементного камня улучшает водостойкость АБВ на 15%, за счет высокой шероховатости поверхности и увеличения объема образующих пор, способствующих формированию на поверхности наполнителя плотных прослоек битумного вяжущего. Примечательно, но температурная обработка такого минерального порошка при 160 °С незначительно увеличивает битумоемкость. Таким образом, минеральные наполнители из цементного камня также могут быть вовлечены в технологию производства асфальтобетонов, улучшая их физико-механические свойства.

В качестве МП рассматриваются также иные отходы и вторичные продукты промышленности, такие как: доменный шлак, зола-уноса тепловых электростанций (ТЭС) [32–33]. В статье [32] описывается влияние минеральных порошков различного происхождения, полученных на основе вышеперечисленных материалов, на свойства асфальтобетона.

Так, зола-уноса ТЭС – это тонкодисперсный порошок, состоящий из кварца (трещиноватые зерна неправильной формы), полевого шпата (зерна угловатой формы), стеклоподобного вещества и углистого материала. Присутствие данных частиц в золе-уноса обеспечивает повышенную способность к уплотнению благодаря снижению трения между гладкими поверхностями частиц в процессе уплотнения, что позволяет сократить расход битумного вяжущего. Минеральный порошок на основе активного доменного шлака содержит оксиды кальция и магния, что

способствует повышению прочности асфальтобетона [32].

В исследовании [33] активированные МП получали совместным помолом золы-уноса с активными добавками: асбест хризотилловый и смесь битума с катионным ПАВ БАП-ДС-3. Оптимальные составы активированных порошков из золы достигаются при вводе асбеста в количестве 10–20 %, битума 1,0–2,0 % и ПАВ 1,0–2,0 % от массы золы-уноса.

Активированные МП на основе золы-уноса гидрофобны, характеризуются низкими показателями пористости, битумоемкости и набухания, а также высокими коэффициентами водостойкости, что позволяет рекомендовать их для применения в различных асфальтобетонных смесях.

В свою очередь, отмечается [34–36], что использование МП на основе только кварца демонстрирует снижение прочности асфальтобетона при высоких температурах. В исследовании [34] предлагается использовать диатомит с высокой удельной поверхностью в качестве минерального наполнителя, который повышает термостабильность асфальтобетона.

В качестве исходного сырья для МП могут выступать вторичные продукты производства талька (талькомагнезит) [37]. Структурирующая способность подобного наполнителя ниже, чем у известнякового минерального порошка, но выше, чем у дисперсного никелевого шлака, который инактивен и используется исключительно как наполнитель в асфальтобетонном вяжущем. По данным [37], порошок из талькомагнезита соответствует требованиям ГОСТ 32761-2014 для марки МП-3, а асфальтобетон с его использованием отличается высокими показателями прочности и водостойкости. При этом расход битума при использовании талькомагнезита на 6,5% ниже, чем при использовании известнякового аналога. Заключается, что подобный МП можно использовать в дорожном строительстве для производства песчаных асфальтобетонных смесей.

Известно использование серпентинизированных пород [38] для получения минерального порошка, соответствующего требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Порошки из серпентинита, измельченного до удельной поверхности 300 м²/кг, отличаются высокими адсорбционными свойствами (на 40% выше, чем у традиционного порошка из известняка), время адсорбции битума на их поверхности составляет порядка 15 мин. Такие порошки обладают низкой пористостью, повышенной водостойкостью, не склонны набухать при смешивании с битумом, позволяют улучшить физико-механические свойства асфальтобетонных смесей и снизить негативное

воздействие на окружающую среду за счет утилизации отходов горного производства.

Согласно исследованию [39], минеральные порошки из опоки, известняковых отходов сахарного производства, а также гашеной извести [40] показывают улучшение физико-механических свойств асфальтобетона, включая повышение прочности и снижение водонасыщения. Введение адгезионной добавки «Адгезол № 4» повышает прочность и водостойкость, улучшая взаимодействие битума и подобного МП. Подобная смесь может использоваться в качестве минерального порошка в асфальтобетонных смесях при обеспечении гранулометрического состава.

Молотый бой асбестоцементных изделий (АЦИ), также может быть эффективной сырьевой базой [41] МП для асфальтобетона марки МП-3. Подобный порошок соответствует требованиям ГОСТ 32761-2014, отличается меньшей насыпной плотностью (на 40 %) и большей битумоемкостью (на 14 %) по сравнению с контрольным карбонатным порошком. Результаты испытания асфальтобетона с использованием порошка из АЦИ продемонстрировали увеличение прочности при 20 °С на 10 % и на 50 % при 50 °С по сравнению с контрольными образцами. Таким образом, молотый бой асбестоцементных изделий может эффективно использоваться в качестве МП для асфальтобетона, улучшая его прочностные характеристики. Применение АЦИ позволяет сократить расходы на битум и минеральный порошок, делая производство асфальтобетонных смесей более экономичным.

В качестве исходного сырья для получения минерального порошка [42], соответствующего требованиям ГОСТ 32761-2014 для марки МП-3, предлагается использование угольных сланцев. АВВ на основе порошка из угольных сланцев показывает высокую структурирующую способность, сравнимую с известняковым порошком. В свою очередь, асфальтобетон на основе МП из угольных сланцев характеризуется высокой прочностью и водостойкостью. Необходимо отметить, что расход битума при использовании порошка из угольных сланцев на 6,5% выше, чем при использовании известняка. Снижение битумоемкости и расхода битума в смесях возможно посредством вовлечения в технологию производства минерального порошка гидрофобизаторов или активаторов.

Известен опыт вовлечения осадков сточных вод [43–45] для получения органоминерального порошка (ОМП). Осадки сточных вод содержат порядка 21% органических веществ, включая ПАВ, которые улучшают сцепление битума с минеральными частицами. Температура размягче-

ния АВВ с ОМП выше, чем с известняковым минеральным порошком. Адсорбция битума на ОМП также выше, чем на других кислых материалах, что свидетельствует об активном протекании процессов взаимодействия с битумом. Все это в целом определяет высокие структурирующие свойства ОМП из осадков сточных вод относительно МП из золы и кварцевого песка. Использование органоминерального порошка из осадков сточных вод позволяет улучшить свойства АВВ посредством химического взаимодействия на границе раздела фаз «органоминеральный порошок – битум», протекающего по типу комплексно-гетерополярных соединений, обеспечивая высокую адгезию в системе и ее устойчивость к агрессивным воздействиям. Качественное целенаправленное регулирование матрицы АВВ проецируется на асфальтобетон на основе ОМП, который демонстрирует высокие физико-механические характеристики по сравнению с контрольными сериями образцов. Так, водонасыщение и набухание образцов асфальтобетона на ОМП на 20% и 50% меньше, соответственно, чем при использовании в составе асфальтобетонных смесей известнякового наполнителя. При этом, предел прочности при сжатии при повышенных температурах у асфальтобетона на ОМП был вдвое выше, чем у аналогов. Таким образом, использование ОМП в дорожном строительстве также является перспективным направлением для утилизации отходов.

В исследовании [46] описывается возможность использования литого шлакового щебня в качестве сырья для получения МП. Такой минеральный порошок имеет повышенную пористость и гидравлическую активность, что способствует лучшему взаимодействию с битумом. Водостойкость АВВ на основе шлакового порошка значительно выше, чем на известняковом порошке, а асфальтобетонные смеси на его основе требуют меньше битума для достижения регламентируемых показателей водонасыщения. В общем виде, асфальтобетонные смеси на шлаковом порошке обладают повышенной теплоустойчивостью и водостойкостью в процессе длительного хранения в воде, а также повышенной долговечностью в асфальтобетонных покрытиях.

Согласно публикации [47], при производстве МП целесообразно использовать следующие побочные продукты промышленности:

1. распавшиеся шлаковые частицы: имеют высокую структурирующую способность, но требуют дополнительного помола и гидрофобизации;
2. кремнезёмистые отходы;

3. серосодержащие отходы могут быть использованы для улучшения качества асфальтобетона.

МП из перечисленного техногенного сырья обладают высокой сорбционной способностью, что определяет процессы структурообразования асфальтобетона. Однако, регулирование качества минеральных порошков требует изменения их поверхностных свойств, в целях повышения плотности и структурирующей способности. Очевидно, что технически грамотный подход к вопросам использования побочных продуктов промышленности при вовлечении их в производство асфальтобетонных смесей может снизить производственные затраты и уменьшить экологическую нагрузку на экосистемы.

Важным и ключевым моментом на этом этапе может стать гидрофобизация или активация вовлекаемого природного или техногенного сырья. Обработка материала органическими и неорганическими вяжущими, химическими реагентами для улучшения их свойств путем изменения структуры материала или активации химических свойств – один из простых технологических приемов повышения качества асфальтобетонных смесей.

Влияние способов получения и приемов активации на свойства минеральных порошков

В общем виде, способы получения и активации минеральных порошков напрямую влияют на их удельную поверхность, химическую активность и структуру. Оптимизация этих процессов позволяет усилить экстенсивные (площадь контакта) и интенсивные (физико-химические взаимодействия) факторы, критичные для проектирования высокопрочного и термостабильного асфальтобетона. Стоит отметить, что наиболее целесообразно говорить об активации и гидрофобизации минеральных наполнителей для асфальтобетонных смесей в контексте помола сырья в порошок [48]. В этот момент активные поверхностные центры МП находятся в максимально реакционноспособном состоянии, обеспечивая синергетический эффект от взаимодействия с химическими веществами, вводимыми на их поверхность, при последующем совместном домоле. Следует различать гидрофобизацию и активацию минерального порошка. Гидрофобизация – это нанесение на поверхность наполнителя специальных составов, которые предотвращают разрушающее действие воды, положительно влияя на показатели набухания, водонасыщения.

Есть мнение [49], что МП, полученные на центробежных установках, отличаются улучшенным зерновым составом и неокатанной формой зерен, что регулирует в заданном направлении

сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетона. Такая технология позволяет добиться равномерного гранулометрического распределения частиц и низкой пористости минерального порошка.

Планетарная шаровая мельница рассматривается в исследовании [50] как инструмент механоактивации минеральных порошков. В процессе такого технологического передела увеличивается дисперсность и удельная поверхность МП, что улучшает их взаимодействие с битумом. Данный вывод основывается на проведенных сравнительных испытаниях асфальтобетонов, приготовленных на основе неактивированных МП и активированных (механоактивированных) МП. Асфальтобетоны с активированными порошками продемонстрировали более высокие значения сдвигоустойчивости по сравнению с традиционными составами, т.к. микрорельеф поверхности АВВ с активированными порошками более развит. Активированные порошки позволили увеличить водостойкость и морозостойкость асфальтобетонов, что свидетельствует об интенсификации адгезионных связей на границе раздела фаз.

Как следует из публикаций [32–33], механоактивация минеральных порошков на основе цеолитов и бурых углей способствует увеличению их адсорбционных и адгезионных свойств к битуму, что обеспечивает производство асфальтобетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

В исследовании [51] описывается активация МП, где в качестве активатора выступают высокомолекулярные нефтяные кислоты. Подобная активация минерального наполнителя повышает однородность смеси и способствует образованию замкнутых пор, что увеличивает морозостойкость и долговечность асфальтобетона в покрытии.

Известно [52] получение активированных МП посредством совместного измельчения мраморного наполнителя и гидрофобной органической составляющей. Активированные подобным способом порошки уменьшают набухание АВВ в воде, позволяя снизить количество битума в асфальтобетоне и улучшить его удобоукладываемость. Асфальтобетон с активированным мраморным порошком показывает более высокую плотность, прочность на сжатие и водостойкость.

Согласно публикации [48], для получения активированного МП можно использовать отходы мокрой магнитной сепарации (ММС) железистых кварцитов, активируя их путём совместного помола с поверхностно-активными веществами (стеариновая кислота, адгезионная добавка Амдор-10) и битумом в шаровой планетар-

ной мельнице. Применение подобного технического решения приводит к увеличению плотности упаковки композита и снижению пористости минерального остова. Водонасыщение и набухание асфальтобетонных образцов снижается, повышается водостойкость и морозостойкость.

В работе [53] рассматривается физико-химическая активация минеральных порошков в асфальтобетонах с использованием нефтяных шламов (отходов нефтехранилищ). Предлагается использовать нефтяной шлам следующего группового состава:

- масла – 57,17 % (заполняют поры минерального порошка);
- смолы – 40,30 %;
- асфальтены – 2,53 % (усиливают адгезию битума к поверхности).

Минеральный порошок (чаще всего известняковый) предлагается активировать совместным помолом с нефтешламом в шаровой мельнице. Для этого МП предварительно просушивают, нефтешлам обезвоживают, после чего оба компонента нагревают до 100 °С. В результате поверхность наполнителя становится гидрофобной, наблюдается снижение пористости, битумоемкости и набухания АВВ. Применение подобного активированного минерального порошка снижает расход битума в смеси на 10–15 %, уменьшает водонасыщение асфальтобетона, что повышает устойчивость к атмосферной коррозии, а также улучшает физико-механические свойства асфальтобетона: прочность, плотность, теплоустойчивость.

Известны примеры [54], когда рассматривается поверхностная активация минеральных материалов: минерального наполнителя и минерального порошка, – 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом. Этиленглицидилакрилат – это химическое соединение, сочетающее в своей структуре:

1. эпоксидную группу (глицидильный фрагмент) – трёхчленный цикл с кислородом, обеспечивающий высокую реакционную способность и способность к образованию прочных связей;
2. акрилатную группу – производное акриловой кислоты, придающее материалу полимеризационные свойства и устойчивость к внешним воздействиям;
3. этиленовый мостик – связывает функциональные группы, обеспечивая гибкость и совместимость с другими компонентами смеси.

В результате наблюдается формирование сетчатых структур на поверхности минеральных материалов, обеспечивающих монолитность и изотропность асфальтобетона, а также снижение технологического старения смесей на порядок по

сравнению с традиционными. Это влечет за собой повышение прочности, устойчивости к колебанию, улучшению водостойкости, морозостойкости асфальтобетона.

Согласно работе [55], возможна модификация минерального порошка из доломита специальными углеродными нанотрубками (УНТ) «Таунит» (диаметр 20–50 нм, внутренний канал 10–20 нм). В результате действия УНТ происходит образование прочного, термостойкого слоя структурированного битума на поверхности минеральных частиц, усиление адсорбционно-сольватного слоя, повышающего вязкость и упругость битума, снижение пластических деформаций за счет увеличения предела текучести материала. Наноуглеродная модификация минерального порошка эффективно повышает устойчивость асфальтобетона к высоким температурам, влаге и динамическим нагрузкам. Данный метод применим для регионов с жарким климатом для борьбы с колебательностью и увеличения срока службы дорожных покрытий.

В статье [56] описана поверхностная активация МП (0,5–0,7% полимера – бутадиен-метилстирольный каучук (СКМС-30) + техническая сера). В результате активации наблюдается формирование пространственной полимерной сетки в битуме, усиливающей межмолекулярные связи, а также образование адсорбционно-сольватных слоев на поверхности минеральных частиц, улучшающих адгезию.

В исследованиях [57–59] изучается влияние гидрофобизации МП препаратом ГФ-1 на физико-механические характеристики асфальтобетона. Гидрофобизация повышает водостойкость и адгезию на границе раздела фаз «вязущее – МП». Гидрофобизация минерального порошка способствует снижению водонасыщения, набухания и расхода битума, улучшению прочности и водостойкости асфальтобетона, за счет повышения структурирующей способности минерального порошка. Однако, при гидрофобизации МП наблюдается снижение прочности при 0°C, что требует учета в холодных регионах.

Предлагается способ активации [60] минеральных порошков из малопрочных известняков древесной энергохимической смолой (ДЭС) в количестве 1–2% от массы порошка. Применение древесной смолы устраняет отслаивание битума, улучшая адгезию к каменному материалу, повышает водостойкость и деформационную устойчивость асфальтобетона, решает экологические проблемы утилизации отходов деревообработки.

Согласно исследованию [61], активация МП, посредством совместного измельчения минерального наполнителя с гидрофобными органи-

ческими компонентами (целлюлозный загуститель), способствует: устранению проблемы деформации полимерно-битумных вяжущих при длительном нагреве, использованию отходов производства в качестве пластификаторов, что снижает себестоимость, улучшению удобоукладываемости и повышению плотности, морозостойкости и устойчивости к температурным перепадам асфальтобетона.

В статье [62] рассматривается активированный МП на основе алеврита. Алеврит – кремнеземистая осадочная порода, содержащая до 80 % SiO₂. Активированные минеральные порошки получают совместным помолом алеврита с активными добавками: портландцементом 0–15 % и битумом марки БНД 60/90 в количестве 0–4 %. Совместная активация алеврита с цементом и битумом значительно улучшает свойства порошков: снижает пористость, показатель битумоемкости и набухание, повышает коэффициент водостойкости и придает поверхности зерен гидрофобные свойства.

Вопросам использования комплексной модификации МП посвящена работа [63]. Коллектив авторов рассматривал в качестве модификатора полимер с включением наночастиц углерода. Модифицированный МП был получен следующего состава: мрамор (84 %), полимерная добавка ДСТ-30-01 – 2,5 %, микрокремнезем с наночастицами углерода – 8,4 %, минеральное масло – 4,5 %. Помол производился в лабораторной шаровой мельнице в течение 10 часов. Асфальтобетон на подобном модифицированном порошке показал лучшие физико-механические свойства по сравнению с традиционным порошком: наблюдалось увеличение прочности при сжатии, водостойкости, в том числе при длительном водонасыщении.

Выводы. Основные выводы и рекомендации можно сформулировать следующим образом:

– минеральные порошки являются ключевым структурообразующим компонентом асфальтобетона, формируя прочные связи между битумом и минеральным наполнителем. Их удельная поверхность, химический состав и пористость напрямую влияют на адгезию, водостойкость, прочность и термостабильность асфальтобетона;

– пористые минеральные наполнители: диатомиты, цеолиты, перлиты, демонстрируют повышенную термостабильность и прочность как АВВ, так и асфальтобетонов на их основе, улучшая эксплуатационные свойства последних до 30 %;

– промышленные отходы: зола-уноса ТЭС, доменные шлаки, молотый бой асбестоцементных изделий, не только снижают себестоимость

производства асфальтобетонных смесей, но и повышают водостойкость и морозостойкость асфальтобетона в покрытии. Так, например, зола-уноса сокращает расход битума, а шлаки увеличивают долговечность;

– органоминеральные порошки на основе осадков сточных вод демонстрируют улучшение адгезии и устойчивость к агрессивным воздействиям на границе раздела фаз, обеспечивая снижение водонасыщения композита до 20 %;

– любой вид модификации и активации поверхности минерального порошка способен обеспечить достижение технического результата в заданном направлении. Так, механическая активация (измельчение в шаровых мельницах) увеличивает удельную поверхность и улучшает адсорбционные свойства; химическая модификация (добавки ПАВ, битумные эмульсии, наноглеродные материалы) повышает гидрофобность, снижает расход битума (до 15 %), интенсифицирует адгезионные процессы; термическая обработка (обжиг) увеличивает пористость и реакционную способность наполнителя;

– использование приемов модифицирования, активации и гидрофобизации минеральных порошков в том числе из местных сырьевых материалов (цеолиты, серпентинит, конверсионный мел) и отходов промышленности (зола, шлаки, нефтешламы), снижает себестоимость производства асфальтобетонных смесей и экологическую нагрузку на регионы посредством перевода отходов во вторичное сырье и их утилизации;

– внедрение наномодификаторов (нанотрубки, микрокремнезём) и гидрофобизаторов в технологию приготовления асфальтобетонных смесей повышает их устойчивость к колееобразованию и температурным перепадам;

Таким образом, интеграция альтернативных минеральных порошков и методов их активации позволяет создавать асфальтобетонные покрытия с повышенной долговечностью, адаптированные к климатическим условиям регионов. Разработка стандартов для таких нетрадиционных компонентов смесей и внедрение инновационных технологий их обработки открывают путь к устойчивому развитию дорожной инфраструктуры и обеспечению межремонтных сроков при эксплуатации асфальтобетонных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюхин Г.Н. К вопросу о теории структуры асфальтобетона // Дороги и мосты. 2019. № 1(41). С. 247–261.
2. Guo, M., Tan, Y., Wang, L., Hou, Y. A state-of-the-art review on interfacial behavior between asphalt binder and mineral aggregate. *Front. Struct. Civ. Eng.* 2018. Vol. 12(2). Pp. 248–259. DOI: 10.1007/s11709-017-0422-x.
3. 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. Курганская ГСХА. 2018. С. 67–69.
4. Высоцкая М.А., Лесовик В.С., Катрич Я.М., Егоров Д.Ю. Влияние минеральных порошков на устойчивость битумного вяжущего к термическим деформациям // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2024. Т. 21. № 5(99). С. 770–785. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-5-770-785.
5. Киндеев О.Н., Высоцкая М.А., Курлыкина А.В. Наполненные битумные композиции в строительной индустрии // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023. Т. 50. № 1. С. 194–206. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-194-206.
6. 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.
7. Высоцкая М.А., Ядыкина В.В. Использование приемов наномодификации наполнителей для расширения сырьевой базы дорожно-строительной отрасли // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова «Современные строительные материалы, технологии и конструкции». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2015. С. 99–104.
8. Солдатов А.А., Мустафаев З.Р., Пономарев В.А. Оценка влияния содержания и физико-механических показателей минерального порошка на свойства битумо-минеральных материалов // Сборник статей по материалам конференции «Интеллектуальный капитал и инновационное развитие общества, науки и образования». ФГАОУ ВО Северо-Кавказский Федеральный Университет. 2019. С. 29–31.
9. 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.
10. Сапелкина Т.В., Монгуш М.М.-Х. Применение известняков Чаданского месторождения

в качестве минерального порошка в асфальтобетоне // Природные ресурсы, среда и общество. 2023. № 3(19). С. 83–87. DOI: 10.24412/2658-4441-2023-3-83-88.

11. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Лебедев М.С., Акимов А.Е. Предварительные исследования конверсионного мела в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 21–27. DOI: 10.12737/article_5b115a5fca2155.86312327.

12. Yadykina V.V., Gridchin A. M., Trautvain, A. I., Tobolenko S. S. Influence of the Type of the Fiber Component of the Stabilizing Additive for Stone Mastic Asphalt Concrete on the Structure of an Organic Binder // Applied Mechanics and Materials. 2016. Vol. 835. Pp. 494–500. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.835.494.

13. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Khoroshikh A.S. Increasing the Reactivity of the Mineral Powders by Modifying // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 749. Pp. 348–352. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.749.348.

14. Пугин К.Г., Яконцева О.В. Особенности использования местных минеральных материалов при производстве асфальтобетона // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 3. С. 36–43. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.04.

15. 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.

16. Копылов В.Е., Буренина О.Н. Минеральное сырье Республики Саха (Якутия) для производства асфальтобетонов // Вестник евразийской науки. 2016. №1(32). С. 1–9. DOI: 10.15862/47TVN116.

17. Копылов В.Е., Буренина О.Н., Саввинова М.Е. Минеральные порошки из местного сырья для производства асфальтобетонов // Приволжский научный вестник. 2015. №12-1(52). С. 33–39.

18. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Особенности взаимодействия альтернативных дисперсных пористых минеральных материалов с органическим вяжущим // Известия вузов. Строительство. 2019. № 4. С. 35–46.

19. 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.

20. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Реакционная способность альтернативных минеральных дисперсных материалов как

инструмент для разработки эффективных дорожных композитов // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1(79). С. 282–288. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-282-288.

21. Гридчин А.М., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А., Высоцкая М.А., Кузнецов А.В. Особенности свойств поверхности кислых минеральных материалов для асфальтобетонных смесей // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 56–57.

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

23. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.К., Барабаш Д.Е. Особенности структурообразования битумо-минеральных композиций с применением пористого сырья // Строительные материалы. 2014. № 1-2. С. 68–71.

24. Гридчин А.М., Высоцкая М.А. Влияние поровой структуры и состояния поверхности минерального порошка из перлита на свойства асфальтовяжущего вещества // Сборник статей по материалам юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения) "Наукоемкие технологии и инновации". Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 32–38.

25. Высоцкая М.А., Гридчин А.М., Кузнецов Д.А. Дисперсный перлит - как структурирующий компонент бинарной системы // Сборник статей по материалам научно-технической конференции «Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений». Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 96–103.

26. Высоцкая М.А., Фёдоров М.Ю., Кузнецов Д.А. Адсорбционная и структурирующая активность перлита как наполнителя для асфальтобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 7-8(643-644). С. 21–26.

27. Гридчин А.М., Ядыкина В.В., Высоцкая М.А., Коротаев А.П. Асфальтовяжущее на основе пористого минерального порошка // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 12(179). С. 26–27.

28. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Фёдоров М.Ю. Оценка качества битумо-минеральных композитов с применением пористых наполнителей // Дороги и мосты. 2012. № 1(27). С. 240–252.

29. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Оценка влияния степени гидратации цемента на свойства получаемого на его основе минерального наполнителя для асфальтобетонов // Вестник СибАДИ. 2017. № 4-5(56-57). С. 77–84.

30. 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 Zilina. 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012136.
31. 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. DOI: 10.1051/mateconf/201819604052.
32. Доля А.Г., Попов Р.К., Северин Д.В., Терещенко А.О., Катерина А.В. Влияние минеральных порошков различной природы получения на свойства асфальтобетон // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 2018-1(129). С. 114–118.
33. Галдина В.Д., Черногородова М.С. Подбор составов активированных минеральных порошков с использованием метода планирования эксперимента // Вестник СибАДИ. 2017. № 2(54). С. 90–98.
34. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtcev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 5(89). Pp. 129–140. DOI: 10.18720/MCE.89.11.
35. Diab, A., Enieb, M. Investigating influence of mineral filler at asphalt mixture and mastic scales. International Journal of Pavement Research and Technology. 2018. Vol. 11(3). Pp. 213–224. DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.10.008.
36. Macías-Salinas, R., Flores-Granados, M.A., Díaz-Cruz, M., García-Sánchez, F. Modeling the dynamic viscosity of associating and polar fluids via the use of density scaling. Fluid Phase Equilibria. 2018. Vol. 458. Pp. 16–29. DOI:10.1016/j.fluid.2017.10.032.
37. 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(9). С. 115–121.
38. Худякова Л.И., Войлошников О.В. Перспективы использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка для асфальтобетона // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 50–53.
39. Ликомаскина М.А., Алнаиф М.С., Мионов А.А., Сальникова А.И. Исследование влияния минеральных порошков различного химико-минералогического состава на свойства асфальтобетонных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 53–63.
40. Высоцкая М.А., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А. Известь в асфальтобетоне – такая простая и сложная // Строительные материалы. 2006. № 3. С. 56–58.
41. Битуев А.В., Печерский С.А., Калашников П.И. Применение молотого боя асбестоцементных изделий в качестве минерального порошка асфальтобетона // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 4(67). С. 86–91.
42. Надыкто Г.И., Галдина В.Д., Гурова Е.В. Минеральный порошок из угольных сланцев // Сборник статей по материалам национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство». СибАДИ. 2018. С. 460–463.
43. Бизирка И.И. Свойства асфальтобетонов на органоминеральном и известняковом минеральном порошках из верхнего слоя покрытия в зависимости от сроков его эксплуатации // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2018. № 54. С. 93–97.
44. Бизирка И.И. Свойства асфальто вяжущего на основе органоминерального порошка, содержащего в своем составе поверхностно-активные вещества // Современное промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2(16). С. 63–71.
45. Бизирка И.И., Дрозд Г.Я. Асфальтобетон с использованием органоминерального порошка из осадков сточных вод // Вестник Донбасского государственного технического университета. 2014. № 2014-1(105). С. 10–16.
46. Ковалев Н.С., Отарова Е.Н., Отаров М.А. Минеральные порошки для асфальтобетона из литого шлакового щебня // Сборник статей по материалам III международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства». Воронежский ГАУ. 2021. С. 275–281.
47. Сазанов А.И., Царук А.В., Тригуб С.В., Чикун А.В. О целесообразности использования побочных продуктов промышленности в качестве минерального порошка дорожного асфальтобетона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 2022-1(153). С. 15–22.
48. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Муленко Е.С. Изучение физико-механических свойств асфальтобетонных образцов на активированных минеральных порошках различных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. № 4(1). С. 44–50.
49. Битуев А.В., Харитонов Е.В. Влияние структурирующей способности минерального порошка на физико-механические свойства асфальтобетона // Сборник статей по материалам

национальной научно-практической конференции «Образование и наука. Технические науки». ВСГУТУ. 2020. С. 63–67.

50. Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2017. № 5(9). С. 1–7.

51. Шихалиев К.С., Абдуллаева М.Я. Изучение физико-механических свойств асфальтобетонных образцов на активированных минеральных порошках различных составов // Пластические массы. 2017. № 9-10. С. 35–37.

52. Лебедева К.Ю. Использование активированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // Сборник статей по материалам IV международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития образования и науки». ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». 2017. С. 188–189.

53. Копылов В.Е., Буренина О.Н. Использование нефтешламов для активации минеральных порошков, входящих в состав асфальтобетонов // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 1(72). С. 44–49.

54. Братчун В.И., Беспалов В.Л., Ромасюк Е.А., Доля А.Г., Гуляк Д.В. Модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации (XIII научные чтения)». БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 25-30

55. Имад А.А.Ш., Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В. Направленное регулирование свойств асфальтобетонов нанокремнеземными объектами // Строительные материалы и изделия. 2019. № 3(2). С. 65–71.

56. Братчун В.И., Беспалов В.Л., Доля А.Г., Демешкин В.П., Леонов Н.С. О влиянии активации межфазного контакта в системе «органическое вяжущее – поверхность минерального порошка» на свойства асфальтобетона // Вестник

Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 2020-1(141). С. 75–81.

57. Кузнецова Е.В. Влияние гидрофобизации минерального порошка препаратом ГФ-1 на физико-механические характеристики асфальтобетона // Сборник статей по материалам конференции «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 165-летию В.Г. Шухова». БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. С. 2459–2463.

58. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С. Повышение эффективности минерального порошка из техногенного сырья за счет его гидрофобизации // Строительные материалы и изделия. 2020. № 4(3). С. 24–30. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-4-24-30.

59. Ядыкина В.В., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С. Изменение свойств асфальтобетона при использовании гидрофобизированного минерального порошка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-17-23.

60. Токар Н.И., Хроленко Е.А. К вопросу о повышении работоспособности дорожных покрытий за счет применения активированных минеральных порошков в асфальтобетоне // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Инновации в строительстве-2023». БГИТУ. 2023. С. 332–337.

61. Алексеенко В.В., Салтанова Ю.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. №2(2). С. 1–5.

62. Галдина В.Д., Черногородова М.С. Оптимизация составов активированных минеральных порошков с применением метода планирования эксперимента // Вестник ХНАДУ. 2017. № 79. С. 112–116.

63. Лебедева К.Ю. Приготовления асфальтобетонной смеси на модифицированном полимерами минеральном порошке, температурный режим, концентрация полимера, количество минерального порошка в смеси // JSRP. 2015. № 1(21). С. 87–91.

Информация об авторах

Коробейников Никита Андреевич, магистр кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина. E-mail: nikkor494@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Грищенко Михаил Сергеевич, студент кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина. E-mail: mishal10944@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Катрич Ярослав Михайлович, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина. E-mail: yaroslavkatrich@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мешкова Кристина Владимировна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина. E-mail: kristinka.msh@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.03.2025 г.

© Коробейников Н.А., Грищенко М.С., Катрич Я.М., Мешкова К.В., 2025

Korobeynikov N.A., *Grishchenko M.S., Katrich Ya.M., Meshkova K.V.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: mishal10944@yandex.ru

MINERAL POWDER AS A TOOL FOR REGULATING THE QUALITY OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Abstract. The study is devoted to the analysis of mineral powders used in asphalt concrete mixtures. The object of study is powders of various origins: carbonate rocks (limestone, dolomite), zeolites, perlite, industrial waste (fly ash, slags, sewage sludge), as well as methods of their activation. Special attention is paid to the influence of the chemical composition, porosity and dispersion of mineral fillers on the properties of the asphalt binder and asphalt concrete.

The paper uses methods of comparative prospecting and theoretical analysis and systematization of existing Russian and foreign studies of mineral powders of various natures, physical and mechanical characteristics of asphalt concrete based on them, mechanical and chemical activation of such powders, and assessment of bitumen adhesion to mineral components. Technologies for modifying fillers using surfactants, nanomaterials, and hydrophobizers are considered.

It has been found that the use of alternative powders (based on zeolites, man-made waste) increases the strength, water resistance and thermal stability of asphalt concrete by 20–30 %, organic mineral powders from sewage sludge reduce water saturation by 20 %, and the use of slag and fly ash in the production of mineral powders contributes to solving environmental problems through waste disposal. It is shown that the activation of mineral fillers reduces bitumen consumption by 10–15 %, improves the structuring of the composite and increases the durability of coatings.

Keywords: mineral powders, activation of mineral powders, asphalt binder, hydrophobization, asphalt concrete, asphalt concrete structuring, recycling of industrial waste.

REFERENCES

1. Kiryukhin G.N. On the theory of asphalt concrete structure [K voprosu o teorii struktury asfal'tobetona]. Roads and bridges. 2019. No. 1(41). Pp. 247–261. (rus)
2. Guo M., Tan Y., Wang L., Hou Y. A state-of-the-art review on interfacial behavior between asphalt binder and mineral aggregate. Front. Struct. Civ. Eng. 2018. Vol. 12(2). Pp. 248–259. DOI: 10.1007/s11709-017-0422-x.
3. 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 [Primenenie mineral'nyh poroshkov prirodnogo proiskhozhdeniya dlya proizvodstva asfal'tobetonov]. Collection of articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and practical conference "Problems and prospects of development of engineering and construction science and education" under the general editorship of S.F. Sukhanova. Kurgan State Agricultural Academy. 2018. Pp. 67–69. (rus)
4. Vysotskaya M.A., Lesovik V.S., Katrich Ya.M., Egorov D.Yu. The effect of mineral powders on the resistance of bitumen binders to thermal deformation [Vliyanie mineral'nyh poroshkov na ustojchivost' bitumnogo vyazhushchego k termicheskim deformatsiyam]. Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2024. Vol. 21. No. 5(99). Pp. 770–785. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-5-770-785. (rus)
5. Kindeev O.N., Vysotskaya M.A., Kurlykina A.V. Filled bitumen compositions in the construction industry [Napolnennye bitumnye kompozicii v stroitel'noj industrii]. Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2023. Vol. 50. No. 1. Pp. 194–206. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-194-206. (rus)
6. 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.

7. Vysotskaya M.A., Yadykina V.V. The use of nanomodification techniques for fillers to expand the raw material base of the road construction industry [Ispol'zovanie priemov nanomodifikatsii napolnitelej dlya rasshireniya syr'evoy bazy dorozhno-stroitel'noj otrasli]. Collection of articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the GGNTU named after Academician M.D. Millionshchikov "Modern building materials, technologies and structures". Grozny State Petroleum Technical University named after academician M.D. Millionshchikov. 2015. Pp. 99–104. (rus)

8. Soldatov A.A., Mustafaev Z.R., Ponomarev V.A. Assessment of the influence of the content and physico-mechanical parameters of mineral powder on the properties of bitumen-mineral materials [Ocenka vliyaniya sodержaniya i fiziko-mekhanicheskikh pokazatelej mineral'nogo poroshka na svoystva bitumomineral'nyh materialov]. Collection of articles based on the materials of the conference "Intellectual capital and innovative development of society, science and education". North Caucasus Federal University. 2019. Pp. 29–31. (rus)

9. Shiryaev A.O., Vysotskaya M.A. Mineral powder in the modern asphalt concrete mix design system [Mineral'nyj poroshok v sovremennoj sisteme proektirovaniya asfal'tobetonnyh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19. (rus)

10. Sapelkina T.V., Mongush M.M.-Kh. The use of limestone from the Chadani deposit as a mineral powder in asphalt concrete [Primenenie izvestnyakov CHadanskogo mestorozhdeniya v kachestve mineral'nogo poroshka v asfal'tobetone]. Natural resources, environment and society. 2023. No. 3(19). Pp. 83–87. DOI: 10.24412/2658-4441-2023-3-83-88. (rus)

11. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Lebedev M.S., Akimov A.E. Preliminary studies of conversion chalk as a mineral powder for asphalt concrete mixtures [Predvaritel'nye issledovaniya konversionnogo mela v kachestve mineral'nogo poroshka dlya asfal'tobetonnyh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 6. Pp. 21–27. DOI: 10.12737/article_5b115a5fca2155.86312327. (rus)

12. Yadykina V.V., Gridchin A. M., Trautvain, A. I., Tobolenko S. S. Influence of the Type of the Fiber Component of the Stabilizing Additive for Stone Mastic Asphalt Concrete on the Structure of an Organic Binder. Applied Mechanics and Materials.

2016. Vol. 835. Pp. 494–500. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.835.494.

13. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Khoroshikh A.S. Increasing the Reactivity of the Mineral Powders by Modifying. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 749. Pp. 348–352. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.749.348.

14. Pugin K.G., Yakontseva O.V. Features of the use of local mineral materials in the production of asphalt concrete [Osobennosti ispol'zovaniya mestnyh mineral'nyh materialov pri proizvodstve asfal'tobetona]. Transport. Transport facilities. Ecology. 2022. No. 3. Pp. 36–43. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.04. (rus)

15. 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.

16. Kopylov V.E., Burenina O.N. Mineral raw materials of the Republic of Sakha (Yakutia) for the production of asphalt concrete [Mineral'noe syr'e Respubliki Saha (Yakutiya) dlya proizvodstva asfal'tobetonov]. Bulletin of Eurasian Science. 2016. No. 1(32). Pp. 1–9. DOI: 10.15862/47TVN116. (rus)

17. Kopylov V.E., Burenina O.N., Savvinova M.E. Mineral powders from local raw materials for the production of asphalt concrete [Mineral'nye poroshki iz mestnogo syr'ya dlya proizvodstva asfal'tobetonov]. Privolzhsky Scientific Bulletin. 2015. No. 12-1(52). Pp. 33–39. (rus)

18. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu., Kuznetsov D.A. Features of interaction of alternative dispersed porous mineral materials with organic binder [Osobennosti vzaimodejstviya al'ternativnyh dispersnyh poristykh mineral'nyh materialov s organicheskim vyazhushchim]. Izvestiya vuzov. Construction. 2019. No. 4. Pp. 35–46. (rus)

19. 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.

20. 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 [Reakcionnaya sposobnost' al'ternativnyh mineral'nyh dispersnyh materialov kak instrument dlya razrabotki effektivnyh dorozhnyh kompozitov]. Vestnik VGUI. 2019. Vol. 81. No. 1(79). Pp. 282–288. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-282-288. (rus)

21. Gridchin A.M., Yadykina V.V., Kuznetsov D.A., Vysotskaya M.A., Kuznetsov A.V. Surface properties of acidic mineral materials for asphalt concrete mixtures [Osobennosti svoystv poverhnosti kislykh mineral'nyh materialov dlya asfal'tobetonnyh

smesej]. Building materials. 2007. No. 8. Pp. 56–57. (rus)

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

23. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.K., Barabash D.E. Features of structure formation of bitumen-mineral compositions using porous raw materials [Osobennosti strukturoobrazovaniya bitumomineral'nyh kompozitsij s primeneniem poristogo syr'ya]. Building materials. 2014. No. 1-2. Pp. 68–71. (rus)

24. Gridchin A.M., Vysotskaya M.A. The influence of the pore structure and surface condition of mineral powder from perlite on the properties of an asphalt binder [Vliyanie porovoj struktury i sostoyaniya poverhnosti mineral'nogo poroshka iz perlita na svoystva asfal'tovyazhushchego veshchestva]. Collection of articles based on the materials of the jubilee international scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of the V.G. Shukhov BSTU (XXI scientific readings) "High-tech technologies and innovations". Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. Pp. 32–38. (rus)

25. Vysotskaya M.A., Gridchin A.M., Kuznetsov D.A. Dispersed perlite as a structuring component of a binary system [Dispersnyj perlit - kak strukturiruyushchij komponent binarnoj sistemy]. Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference "Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport facilities". Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. Pp. 96–103. (rus)

26. Vysotskaya M.A., Fedorov M.Yu., Kuznetsov D.A. Adsorption and structuring activity of perlite as a filler for asphalt concrete [Adsorbionnaya i strukturiruyushchaya aktivnost' perlita kak napolnitelya dlya asfal'tobetona]. News of higher educational institutions. Construction. 2012. No. 7-8(643-644). Pp. 21–26. (rus)

27. Gridchin A.M., Yadykina V.V., Vysotskaya M.A., Korotaev A.P. Asphalt binder based on porous mineral powder [Asfal'tovyazhushchee na osnove poristogomineral'nogo poroshka]. Construction materials, equipment, and technologies of the 21st century. 2013. No. 12(179). Pp. 26–27. (rus)

28. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Fedorov M.Y. Quality assessment of bitumen-mineral composites using porous fillers [Ocenka kachestva bitumomineral'nyh kompozitov s primeneniem poristykh napolnitelej]. Roads and bridges. 2012. No. 1(27). Pp. 240–252. (rus)

29. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Assessment of the effect of the degree of hydration of cement on the properties of the mineral filler for asphalt concrete obtained on its basis [Ocenka vliyaniya stepeni gidratatsii cementa na svoystva poluchaemogo na ego osnove mineral'nogo napolnitelya dlya asfal'tobetonov]. Bulletin of SibADI. 2017. No. 4-5(56-57). Pp. 77–84. (rus)

30. 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 Zilina. 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012136.

31. 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. DOI: 10.1051/mateconf/201819604052.

32. Dolya A.G., Popov R.K., Severin D.V., Tereshchenko A.O., Katerinina A.V. The influence of mineral powders of various nature of production on the properties of asphalt concrete [Vliyanie mineral'nyh poroshkov razlichnoj prirody polucheniya na svoystva asfal'tobeton]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2018. No. 2018-1(129). Pp. 114–118. (rus)

33. Galdina V.D., Chernogorodova M.S. Selection of compositions of activated mineral powders using the experimental planning method [Podbor sostavov aktivirovannykh mineral'nyh poroshkov s ispol'zovaniem metoda planirovaniya eksperiment]. SibADI Bulletin. 2017. No. 2(54). Pp. 90–98. (rus)

34. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtcev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete. Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 5(89). Pp. 129–140. DOI: 10.18720/MCE.89.11.

35. Diab A., Enieb M. Investigating influence of mineral filler at asphalt mixture and mastic scales. International Journal of Pavement Research and Technology. 2018. Vol. 11(3). Pp. 213–224. DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.10.008.

36. Macías-Salinas, R., Flores-Granados, M.A., Díaz-Cruz, M., García-Sánchez, F. Modeling the dynamic viscosity of associating and polar fluids via the use of density scaling. Fluid Phase Equilibria. 2018. Vol. 458. Pp. 16–29. DOI:10.1016/j.fluid.2017.10.032.

37. Volchenko A.I., Khilenko E.P., Nadykto G.I. Mineral powder for road asphalt concrete from secondary talc production products [Mineral'nyj poroshok dlya dorozhnykh asfal'tobetonov iz vtorichnykh produktov proizvodstva tal'ka]. Engineering and

construction technologies. 2017. No. 1(9). Pp. 115–121. (rus)

38. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. Prospects of using serpentized rocks as a mineral powder for asphalt concrete [Perspektivy ispol'zovaniya serpentinirovannykh porod v kachestve mineral'nogo poroshka dlya asfal'tobetona]. Building materials. 2017. No. 9. Pp. 50–53. (rus)

39. Likomaskina M.A., Alnaif M.S., Mironov A.A., Salnikova A.I. Investigation of the effect of mineral powders of various chemical and mineralogical composition on the properties of asphalt concrete mixtures [Issledovanie vliyaniya mineral'nykh poroshkov razlichnogo himiko-mineralogicheskogo sostava na svoystva asfal'tobetonnykh smesey]. Regional architecture and construction. 2017. No. 2. Pp. 53–63. (rus)

40. Vysotskaya M.A., Yadykina V.V., Kuznetsov D.A. Lime in asphalt concrete is so simple and complex [Izvest' v asfal'tobetone - takaya prostaya i slozhnaya]. Building materials. 2006. No. 3. Pp. 56–58. (rus)

41. Bituev A.V., Pechersky S.A., Kalashnikov P.I. The use of asbestos cement products as a mineral powder of asphalt concrete [Primenenie molotogo boya asbestocementnykh izdelij v kachestve mineral'nogo poroshka asfal'tobetona]. Bulletin of VSGUT. 2017. No. 4(67). Pp. 86–91. (rus)

42. Nadykto G.I., Galdina V.D., Gurova E.V. Mineral powder from coal shales [Mineral'nyj poroshok iz ugol'nykh slancev]. Collection of articles based on the materials of the national scientific and practical conference "Education. Transport. Innovation. Construction". SibADI, 2018. Pp. 460–463. (rus)

43. Bizirka I.I. Properties of asphalt concrete on organomineral and limestone mineral powders from the upper coating layer, depending on its service life [Svoystva asfal'tobetonov na organomineral'nom i izvestnyakovom mineral'nom poroshkah iz verhnego sloya pokrytiya v zavisimosti ot srokov ego ekspluatatsii]. High-tech technologies and equipment in industry and construction. 2018. No. 54. Pp. 93–97. (rus)

44. Bizirka I.I. Properties of an asphalt binder based on an organomineral powder containing surfactants [Svoystva asfal'tovyazhushchego na osnove organomineral'nogo poroshka, sodержashchego v svoem sostave poverhnostno-aktivnye veshchestva]. Modern industrial and civil engineering. 2020. No. 2(16). Pp. 63–71. (rus)

45. Bizirka I.I., Drozd G.Ya. Asphalt concrete using organomineral powder from sewage sludge [Asfal'tobeton s ispol'zovaniem organomineral'nogo poroshka iz osadkov stochnykh vod]. Bulletin of the Donbass State Technical University. 2014. No. 2014-1(105). Pp. 10–16. (rus)

46. Kovalev N.S., Otarova E.N., Otarov M.A. Mineral powders for asphalt concrete from cast slag rubble [Mineral'nye poroshki dlya asfal'tobetona iz litogo shlakovogo shchebnya]. Collection of articles based on the materials of the III international scientific and practical conference "Actual problems of land management, cadastre and environmental management". Voronezh State Agrarian University. 2021. Pp. 275–281. (rus)

47. Sazanov A.I., Tsaruk A.V., Trigub S.V., Chikun A.V. On the expediency of using industrial by-products as mineral powder of asphalt road concrete [O celesoobraznosti ispol'zovaniya pobochnykh produktov promyshlennosti v kachestve mineral'nogo poroshka dorozhnogo asfal'tobetona]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2022. No. 2022-1(153). Pp. 15–22. (rus)

48. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Mulenko E.S. Study of physico-mechanical properties of asphalt concrete samples on activated mineral powders of various compositions [Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv asfal'tobetonnykh obrazcov na aktivirovannykh mineral'nykh poroshkah razlichnykh sostavov]. Building materials and products. 2018. No. 4(1). Pp. 44–50. (rus)

49. Bituev A.V., Kharitonova E.V. The influence of the structuring ability of mineral powder on the physico-mechanical properties of asphalt concrete [Vliyanie strukturiruyushchej sposobnosti mineral'nogo poroshka na fiziko-mekhanicheskie svoystva asfal'tobetona]. Collection of articles based on the materials of the national scientific and practical conference "Education and Science. Technical sciences". EVERYWHERE. 2020. Pp. 63–67. (rus)

50. Kopylov V.E., Burenina O.N., Pavlova E.A. Activation of mineral powders as a way to improve the physico-mechanical characteristics of asphalt concretes [Aktivatsiya mineral'nykh poroshkov, kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik asfal'tovykh betonov]. Online magazine "NAUKOVEDENIE". 2017. № 5(9). Pp. 1–7. (rus)

51. Shikhaliev K.S., Abdullayeva M.Ya. Study of physico-mechanical properties of asphalt concrete samples on activated mineral powders of various compositions [Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv asfal'tobetonnykh obrazcov na aktivirovannykh mineral'nykh poroshkah razlichnykh sostavov]. Plastic masses. 2017. No. 9-10. Pp. 35–37. (rus)

52. Lebedeva K.Y. The use of activated mineral powders in the production of hot asphalt concrete [Ispol'zovanie aktivirovannykh mineral'nykh poroshkov pri proizvodstve goryachego asfal'tobetona]. Collection of articles based on the materials of the IV International scientific and practical conference "Pri-

ority areas for the development of education and science". Interactive Plus Scientific Cooperation Center, LLC. 2017. Pp. 188–189. (rus)

53. Kopylov V.E., Burenina O.N. The use of oil sludge for the activation of mineral powders included in asphalt concrete [Ispol'zovanie nefteshlamov dlya aktivatsii mineral'nyh poroshkov, vbodyashchih v sostav asfal'tobetonov]. Bulletin of VSGUT. 2019. No. 1(72). Pp. 44–49. (rus)

54. Bratchun V.I., Bepalov V.L., Romasyuk E.A., Dolya A.G., Gulyak D.V. Modified asphalt road concrete with increased durability [Modificirovannye dorozhnye asfal'tobetonny povyshennoj dolgovechnosti]. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the BSTU named after V.G. Shukhov "High-tech technologies and innovations (XIII scientific readings). BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Pp. 25–30. (rus)

55. Imad A.A.Sh., Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Kurlykina A.V. Directed regulation of asphalt concrete properties by nanocarbon objects [Napravlennoe regulirovanie svoystv asfal'tobetonov nanouglerodnymi ob"ektami]. Building materials and products. 2019. No. 3(2). Pp. 65–71. (rus)

56. Bratchun V.I., Bepalov V.L., Dolya A.G., Demeshkin V.P., Leonov N.S. On the effect of activation of interfacial contact in the "organic binder – surface of mineral powder" system on the properties of asphalt concrete [O vliyaniy aktivatsii mezhfaznogo kontakta v sisteme «organicheskoe vyazhushchee – poverhnost' mineral'nogo poroshka» na svoystva asfal'tobetona]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2020. No. 2020-1(141). Pp. 75–81. (rus)

57. Kuznetsova E.V. The effect of hydrophobization of mineral powder with GF-1 preparation on the physico-mechanical characteristics of asphalt concrete [Vliyanie gidrofobizatsii mineral'nogo poroshka preparatom GF-1 na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki asfal'tobetona]. Collection of articles based on the materials of the conference "International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 165th anniversary of V.G. Shukhov". BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. Pp. 2459–2463. (rus)

58. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Improving the efficiency of mineral powder from man-made raw materials due to its hydrophobization [Povyshenie effektivnosti mineral'nogo poroshka iz tekhnogennogo syr'ya za schet ego gidrofobizatsii]. Building materials and products. 2020. No. 4(3). Pp. 24–30. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-4-24-30. (rus)

59. Yadykina V.V., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Changing the properties of asphalt concrete when using hydrophobized mineral powder [Izmenenie svoystv asfal'tobetona pri ispol'zovanii gidrofobizirovannogo mineral'nogo poroshka]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-17-23. (rus)

60. Tokar N.I., Khrolenko E.A. On the issue of improving the performance of road surfaces through the use of activated mineral powders in asphalt concrete [K voprosu o povyshenii rabotosposobnosti dorozhnyh pokrytij za schet primeneniya aktivirovannyh mineral'nyh poroshkov v asfal'tobetone]. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference "Innovations in Construction-2023". BGITU. 2023. Pp. 332–337. (rus)

61. Alekseenko V.V., Saltanova Yu.V. The use of modified mineral powders in the production of hot asphalt concrete [Ispol'zovanie modificirovannyh mineral'nyh poroshkov pri proizvodstve goryachego asfal'tobetona]. Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia. 2016. No. 2(2). Pp. 1–5. (rus)

62. Galdina V.D., Chernogorodova M.S. Optimization of compositions of activated mineral powders using the experimental planning method [Optimizatsiya sostavov aktivirovannyh mineral'nyh poroshkov s primeneniem metoda planirovaniya eksperimenta]. The herald of HNADU. 2017. No. 79. Pp. 112–116. (rus)

63. Lebedeva K.Y. Preparation of asphalt concrete mixture on polymer-modified mineral powder, temperature regime, polymer concentration, amount of mineral powder in the mixture [Prigotovleniya asfal'tobetonnoj smesi na modificirovannom polimerami mineral'nom poroshke, temperaturnyj rezhim, koncentratsiya polimera, kolichestvo mineral'nogo poroshka v smesi]. JSRP. 2015. Vol. 1(21). Pp. 87–91. (rus)

Information about the authors

Korobeynikov, Nikita A. Master student. E-mail: nikkor494@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Grishchenko, Mikhail S. Student. E-mail: mishal10944@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Katrich, Yaroslav M. Postgraduate student. E-mail: yaroslavkatrich@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Meshkova, Kristina V. Postgraduate student. E-mail kristinka.msh@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 09.03.2025

Для цитирования:

Коробейников Н.А., Грищенко М.С., Катрич Я.М., Мешкова К.В. Минеральный порошок – как инструмент регулирования качества асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 11. С. 59–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-59-77

For citation:

Korobeynikov N.A., Grishchenko M.S., Katrich Ya.M., Meshkova K.V. Mineral powder as a tool for regulating the quality of asphalt concrete mixtures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 11. Pp. 59–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-59-77