

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 666.972. 16.

DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-180-189



Обзорная статья / Review article

**Оптимизация асфальтобетонных покрытий: достижения в области активации
и гидрофобизации минеральных порошков**

М.А. Высоцкая, Я.М. Катрич, К.В. Мешкова

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, Россия

Резюме. Цель. Задача исследования заключается в оценке влияния различных методов обработки минеральных порошков на формирование качественных и долгосрочных характеристик асфальтобетонных покрытий. В статье раскрывается тема производства и применения активированных и гидрофобизированных минеральных порошков в контексте возможности их применения в асфальтобетонных покрытиях на основе анализа, обобщения и систематизации информации, полученной из открытых отечественных и зарубежных источников. **Метод.** Включает поисково-теоретический анализ и систематизацию существующих российских и зарубежных исследований, оценку прочностных и эксплуатационных характеристик асфальтобетона с добавлением обработанных порошков, и сравнительный анализ результатов. **Результат.** Изучен практический опыт применения минеральных порошков, основное внимание уделяется различиям в методах обработки, их влиянию на характеристики асфальтобетона и определению оптимальных условий применения каждого из методов для нужд транспортно-дорожного комплекса в качестве заполнителя. Исследования показали, что любой вид воздействия на минеральный порошок для асфальтобетона, будь то активация или гидрофобизация, значительно увеличивает его реакционную способность по отношению к битуму. Химическая активация минерального порошка улучшает механические свойства и устойчивость асфальтобетонов к химическим реагентам, в то время как посредством гидрофобизации наполнителей возможно значительно увеличить морозостойкость композита и его сопротивление водной эрозии. **Вывод.** Выбор метода и состава обработки минерального порошка целесообразно определять индивидуальными условиями эксплуатации асфальтовых покрытий, в виду того, что каждый метод потенциально перспективен, однако максимально проявляет свои свойства только в конкретных эксплуатационных обстоятельствах.

Ключевые слова: асфальтобетон; минеральный порошок; органические вяжущие вещества; химическая активация; гидрофобизация

Для цитирования: М.А. Высоцкая, Я.М. Катрич, К.В. Мешкова. Оптимизация асфальтобетонных покрытий: достижения в области активации и гидрофобизации минеральных порошков. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025; 52(2):180-189. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-180-189

**Optimization of Asphalt Concrete Coatings: Advances in Activation
and Hydrophobization of Mineral Powders**

M.A. Vysotskaya, Ya.M. Katrich, K.V. Meshkova

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia

Abstract. Objective. The objective of the study is to assess the influence of various methods of processing mineral powders on the formation of high-quality and long-term characteristics of asphalt concrete pavements. The article covers the topic of production and application of activated and hydrophobized mineral powders in asphalt concrete pavements. **Method.** The method includes a search and theoretical analysis, as well as the systematization of existing Russian and

foreign studies. **Result.** The practical experience of using mineral powders has been studied, the main attention is paid to the differences in processing methods, their influence on the characteristics of asphalt concrete and the determination of the optimal conditions for the use of each method for the needs of the transport and road complex as a filler. Research has shown that any type of impact on mineral powder for asphalt concrete, whether activation or hydrophobization, significantly increases its reactivity with bitumen. Chemical activation of mineral powder improves the mechanical properties and resistance of asphalt concrete to chemical reagents, while by means of hydrophobization of fillers it is possible to significantly increase the frost resistance of the composite and its resistance to water erosion. **Conclusion.** The choice of method and composition for treating mineral powder should be determined by the individual operating conditions of asphalt pavements. Each method is potentially promising, but it exhibits its maximum properties only in specific operational circumstances.

Keywords: asphalt concrete; mineral powder; organic binders; chemical activation; hydrophobization

For citation: M.A. Vysotskaya, Ya.M. Katrich, K.V. Meshkova. Optimization of Asphalt Concrete Coatings: Advances in Activation and Hydrophobization of Mineral Powders. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025; 52(2):180-189. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-180-189.

Введение. Асфальтобетон – это полидисперсный композиционный материал, включающий щебень, песок, минеральный порошок и органическое вяжущее вещество. При этом, отмечается [1], что роль вяжущего в асфальтобетоне выполняет не отдельно взятый битум, а совокупность систем «битум-минеральный порошок», иначе - асфальтовяжущее вещество (АВВ). Интенсифицировать процессы взаимодействия в такой системе возможно посредством модифицирования битумного вяжущего различного рода добавками ПАВ [2], либо комплексным подходом к проектированию состава органических вяжущих [3-5]. С точки зрения активации битума, представляет интерес, воздействие электромагнитных полей или СВЧ обработка [6]. Однако, ввиду специфики свойств битумного вяжущего, подверженного динамичному изменению свойств во времени, подобные приемы регулирования реакционной способности битума могут носить краткосрочный эффект, зависящий от ряда факторов. Минеральный порошок, выполняющий не только в составе АВВ, но и в асфальтобетонном композите в целом, может также выполнять функцию структурообразователя.

На наш взгляд, подобный технологический прием является наиболее перспективным и целесообразным, позволяющим дуально решить комплексную проблему повышения качества асфальтобетонных смесей за счет формирования прочных коррозионо-устойчивых контактов на границе разделов «минеральный заполнитель-битум-минеральный порошок» и рационального природопользования, так как позволяет расширить сырьевую базу получения минеральных порошков, а также интенсифицировать их реакционную способность посредством направленной активации поверхности.

Как демонстрирует научно-производственный опыт [7-9], показатели ключевых свойств системы «битум – минеральный порошок» или АВВ определяются индивидуальными характеристиками слагаемых компонентов. Особенно ярко выражаются эти зависимости при оценке реологических параметров системы, напрямую зависящих от процессов протекающих на границе раздела фаз.

Постановка задачи. В современном дорожном материаловедении большое значение придается использованию инновационных материалов, которые могут улучшить качество и продлить срок службы асфальтобетонных покрытий. К числу таких материалов возможно отнести активированные и гидрофобизированные минеральные порошки, обеспечивающие значительное улучшение свойств асфальтобетона [10].

Задача исследования заключается в оценке влияния различных методов обработки минеральных порошков на формирование качественных и долгосрочных характеристик

асфальтобетонных покрытий. Ключевые вопросы аналитического исследования: как активация и гидрофобизация влияют на прочность, морозостойкость и долговечность асфальтобетона; какие специфические условия определяют применение каждого из методов; какие последствия для эксплуатации дорожного покрытия несет каждый из рассматриваемых подходов.

Методы исследования. Исследование базируется на анализе научных работ и публикаций, экспериментальных данных, полученных как в лабораторных, так и производственных условиях. Анализируются результаты исследований, проведенных в ведущих научных учреждениях России и за рубежом, а также применения данных технологий на практике. Начиная от технологического оформления процесса получения активированного минерального порошка и до их использования в составе асфальтобетонных смесей.

Обсуждение результатов. В соответствии с ГОСТ Р 52129-2003 и ГОСТ 32761-2014, в роли минерального порошка могут выступать неактивированные карбонатные (например, известняк) и некарбонатные горные породы, твердые и порошковые отходы промышленного производства. Принято говорить об активации исключительно карбонатных горных пород. В отраслевой терминологии используются термины: гидрофобизация и активация минерального порошка.

Гидрофобизация – это нанесение на поверхность минерального порошка специальных составов, в целях предотвращения разрушающего действия воды: набухания, водонасыщения. Активация – прием повышения реакционной способности или адгезионной активности минеральных материалов при взаимодействии с органическим вяжущим. Термин применим к микронаполнителям из кислых пород при использовании приемов механоактивации.

В общем виде, для активированных минеральных порошков характерны специфические свойства, приобретаемые материалами после гидрофобизации. Таким образом, в ряде случаев, активацию минерального порошка можно рассматривать как частный случай гидрофобизации. Среди основных преимуществ гидрофобизированных порошков – повышение водо- и морозостойкости, а также долговечности покрытий, снижение риска разрушения покрытия дорожной одежды [11,12]. Однако стоимость таких материалов может быть выше, чем у традиционных минеральных порошков, что требует дополнительных экономических расчетов и анализа целесообразности их применения в конкретных условиях [13].

Также есть мнение [13], что увеличение начальных затрат при использовании гидрофобизированных порошков оправдано за счет снижения затрат на ремонт и обслуживание дорожного покрытия в долгосрочной перспективе. С экологической точки зрения, интересен рециклинг вторсырья в обработанные минеральные порошки и их воздействие на окружающую среду [14]. Учитывая важность минерального порошка как структурообразующего компонента асфальтобетонных смесей, ряд исследователей рассматривают его активацию и гидрофобизацию как прием направленного регулирования свойств дорожного композита - асфальтобетона.

Так, коллектив авторов [15] предлагает комплексный способ активации минерального порошка путем одновременного перемешивания и измельчения карбонатной породы и гидрофобизатора. Частицы минерального порошка в момент измельчения характеризуются наибольшей химической активностью, за счет чего между добавкой и поверхностью частиц минерального компонента возникают прочные связи, интенсифицирующие адгезию с битумом, что в последствии способствует улучшению физико-технологических показателей асфальтобетонных смесей и асфальтобетона в покрытии.

Известно [16] получение для асфальтобетонной смеси активированного минерального порошка на основе карбонатных пород, где в качестве активатора выступает гидрофобизатор - жирная кислота, температура плавления которой не более 85°C и армирующая добавка в виде волокон. Объединение компонентов и активация производятся в центробежной мельнице.

Также известен состав минерального порошка [17] на основе минерального компонента с добавлением гидрофобизатора и цемента. Все компоненты объединяются и измельчаются, за счет чего происходит активация зерен минерального порошка с последующей гидрофобизацией.

Предложен способ [18] активации минеральных порошков посредством их перемешивания с органическим соединением при нагревании до 100-200°C. Активация микронаполнителя для асфальтобетона производится с целью повышения водоустойчивости асфальтобетонного покрытия. В качестве активатора выступает остаточный продукт производства диметилтерефталата, полученный после колонны многоцелевой дистилляции.

В одном из патентов [19] описана возможность активация дисперсного микронаполнителя асфальтобетонных смесей добавками на основе жировых отходов переработки морских рыб, сланцевого масла и вязкого битума. В соответствии с изобретением, предусматривается смешение обозначенных компонентов в диапазоне температур 105-110°C до однородного состояния. После чего, полученную смесь объединяли с глинистым известняком, содержащим глинистые примеси не более 25%. Завершающим этапом являлось измельчение полученной смеси в шаровой мельнице до необходимой дисперсности.

В качестве минеральной составляющей также могут выступать и отходы промышленных производств, например, шлак электрометаллургического комбината [20]. Для активации его размалывают, затем на свежесформованную поверхность вводят гидрофобизатор-препарат ГФ-1. После прохождения всех технологических этапов на выходе получается активированный минеральный порошок, значительно улучшающий свойства асфальтобетона. Известно [21], что возможна активация минерального порошка комбинацией из силикагеля и золошлаковых отходов, полученных при термическом обезвреживании нефтесодержащих отходов. Отличительной особенностью предлагаемого метода является подход к совместному измельчению компонентов.

Для этого использовалась шаровая мельница, принцип действия которой состоит в измельчении материала ударом, а также частичном истирании во вращающемся барабане свободно падающих мелющих тел в виде чугунных или стальных шаров. Заключительным этапом является отбор предварительно подготовленного материала фракции (0,07-0,31 мм). Узкую фракцию сырья совместно с гашеной известью загружают в смеситель, предварительно смешивают, после чего на минеральную массу вводят гидрофобное ПАВ. Завершающим этапом является конечное перемешивание до получения однородной смеси.

Еще одним из способов активации является введение химически активных минеральных компонентов. В исследовании [22] установлено, что величина адсорбции битума на поверхности минеральных порошков увеличивается пропорционально содержанию извести в минеральной части АВВ. Также возрастает структурирующая способность известьсодержащего порошка.

Вопросы повышения качества минерального порошка в дорожно-строительном материаловедении решаются не только с позиции активации поверхности химическими веществами и добавками. Также популярное направление – это технологическое оформление процесса его производства. Известным фактом является то, что в процессе помола порошков изменяются геометрические параметры его частиц: размер, форма и шероховатость. Это оказывает влияние на поверхностную энергию, проявление магнитных, электрических, молекулярных сил и число контактов с вяжущим веществом.

Установлено, что процесс механической активации приводит к нарушению и преобразованию кристаллической решетки вещества вплоть до перехода его в аморфное состояние. Отмечается [23], что получение минерального порошка для нужд дорожного строительства возможно посредством термальной подготовки горной породы: нагрева, сушки, – с последующим помолом в шаровой мельнице (рис. 1).



Рис. 1 - Схема шаровой мельницы [23]

Fig. 1 - Ball mill diagram [23]

Такой способ является простым и надежным. Ввиду высокой производительности размольного оборудования, используемого в цементной промышленности, он получил широкую применимость для получения минеральных порошков для дорожно-строительного сегмента промышленности. В технологии активации минеральных порошков для асфальтобетонных смесей, также нашли применение горючие сланцы [24]. Модификация зерен микронаполнителя достигается посредством совместного измельчения минерального сырья и органического компонента. Решающая роль в этом случае отводится процессу смешения, в результате которого происходит механохимическая активация порошка в устройствах для измельчения при свободном ударе, а также при стесненном ударе с истиранием.

Получение активированного минерального порошка предлагается [25] также посредством помола щебня фракции 0,5-5 мм. Рассматриваемая технология предусматривает установление технологической линии непосредственно на АБЗ и внесение полученного компонента в асфальтобетонную смесь в короткие временные сроки. Подготовленный исходный материал измельчается в шаровой мельнице. Особенностью способа [25], отличающей его от известных технологических решений, является то, что дисперсный наполнитель, со свежесформированными поверхностями, смешивают с 1-2% битума. В соответствии с предлагаемой технологией, период между обработкой битумом и помолом должен составлять не более 10 мин. Полученный активированный микронаполнитель используется как компонент асфальтобетонной смеси, до этого он подлежит хранению в силосе. Схема приготовления асфальтобетона из механоактивированного минерального порошка представлена на рис. 2.

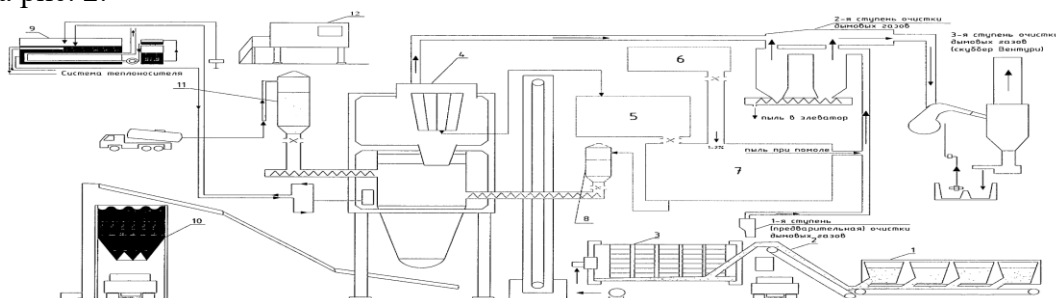


Рис. 2 - Схема включения механоактивированного минерального порошка в технологию приготовления асфальтобетонной смеси на базе установки ДС-168 [25]

Fig. 2 - Scheme of inclusion of mechanically activated mineral powder in the technology of preparation of asphalt concrete mixture based on the DS-168 unit [25]

Коллектив авторов [26] предлагает применять карбонатную породу определенного фракционного состава для производства активированного минерального порошка. Процесс активации происходит следующим образом: из бункера-накопителя карбонатная порода транспортируется в сушильный барабан, с температурой внутри барабана в диапазоне 120-140°C, для достижения содержания влаги в породе не более 0,5%. Подвергшаяся сушке порода, одновременно с активирующей смесью, разогретой до температуры 90-120°C и состоящей из битума и поверхностно-активных веществ (ПАВ), поступает в смеситель-

ную установку. Минеральный материал и активирующая добавка тщательно перемешиваются до достижения равномерного распределения последней, после чего подвергаются совместному помолу. Еще один оригинальный метод [27] получения активированного дисперсного наполнителя включает в себя следующие этапы: помол исходной породы, предпочтительно из карбонатных пород; агломерация дисперсных зерен посредством прессования, после чего, в зоне дезагломерации выполняется посредством горячих газов распушение полученных этапом ранее агломератов.

По мнению изобретателей [28], образование готового продукта происходит как следствие процесса пылеотделения, возникающего в потоке горячих газов при перемешивании дисперсного компонента с активирующей смесью. Некондиционный материал через обратную систему подачи направляется на доизмельчение. Производство минерального порошка для асфальтобетонных смесей описывается в патенте [28]. Производственная линия включает в себя компоненты, изображенные в виде блок-схемы на рис. 3.

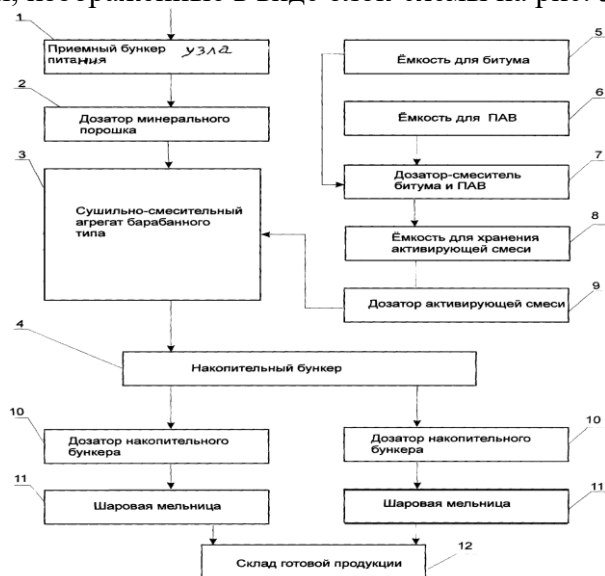


Рис. 3 - Блок-схема технологической линии по приготовлению активированного минерального порошка [28]

Fig. 3 - Block diagram of the technological line for the preparation of activated mineral powder [28]

Отличительной особенностью описываемого технологического решения является совмещение сушки и смешения в одном технологическом узле. Конструкция представляет из себя сушильно-смесительный агрегат барабанного типа, в который через систему дозаторов поступает активирующая смесь и минеральный порошок. При этом, бункер-накопитель оборудован как минимум двумя дозаторами и шаровыми мельницами, установленными параллельно. Измельченный готовый продукт из мельниц поступает на склад готовой продукции. Обобщенный технологический процесс производства минерального порошка может быть представлен следующими этапами (рис. 4):

1. Минеральная составляющая поступает из бункера в сушилку;
2. Производится сушка минеральной части
3. Высушенный материал поступает в мельницу
4. В мельнице материал измельчается до необходимой тонкости помола
5. После или во время измельчения, в зависимости от выбранной технологии, вносятся гидрофобизирующие добавки в концентрациях согласно инструкциям.

Анализ публикаций демонстрирует, что активация зерен минерального порошка происходит за счет измельчения в мельницах, а последующая гидрофобизация или активация минеральных порошков достигается за счет обработки поверхности частиц специализированными химическими реагентами, такими как силиконовые эмульсии, жирные кислоты или фторорганические соединения.

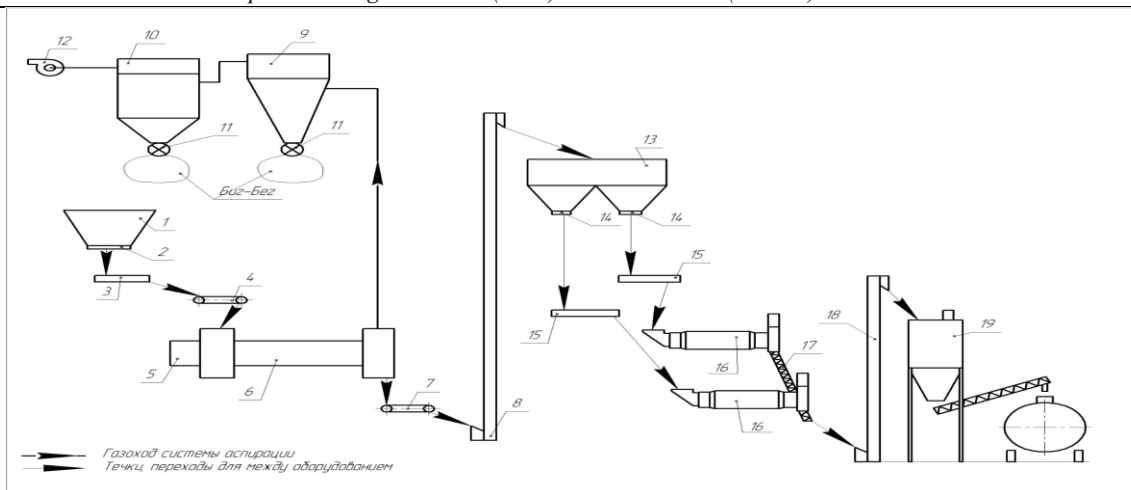


Рис. 4 - Схема производства гидрофобизированных минеральных порошков

1 - Бункер сырого материала, 2 - Задвижка шиберная, 3 - Питатель вибрационный, 4 - Конвейер ленточный, 5 - Газовая горелка, 6 - Сушильный барабан, 7 - Питатель ленточный с высокотемпературной лентой, 8 - Элеватор ленточный, 9 - Циклон групповой, 10 - Фильтр рукавный, 11 - Питатель шлюзовый, 12 - Дымосос, 13 - Бункер сухого материала, 14 - Задвижка шиберная, 15 - Питатель вибрационный, 16 - Шаровая мельница 1456А, 17 - Конвейер виттовой, 18 - Элеватор ленточный, 19 - Силос.

Fig. 4 - Scheme of production of hydrophobized mineral powders

1 - Raw material bin, 2 - Gate valve, 3 - Vibrating feeder, 4 - Belt conveyor, 5 - Gas burner, 6 - Drying drum, 7 - Belt feeder with high-temperature belt, 8 - Belt elevator, 9 - Group cyclone, 10 - Bag filter, 11 - Airlock feeder, 12 - Smoke exhauster, 13 - Dry material bin, 14 - Gate valve, 15 - Vibrating feeder, 16 - Ball mill 1456A, 17 - Vitt conveyor, 18 - Belt elevator, 19 - Silo.

Обработка наполнителей позволяет защитить их от проникновения влаги через, стабилизируя их гидрофобные свойства. Измененная поверхность зерен минерального порошка посредством гидрофобизации характеризуется повышенной способностью к смачиваемости битумом, низкой слеживаемостью при хранении и транспортировке, минимизирует возможность адсорбции влаги, в том числе из окружающего воздуха. Становится возможным регулировать пористость микронаполнителя и, как следствие, битумоемкость.

Вывод. Использование активированных минеральных порошков является одним из наиболее перспективных направлений в современном дорожном строительстве. Такие порошки позволяют не только улучшить физико-механические свойства асфальтобетона, но и значительно продлить его срок службы за счет регулирования морозостойкости и водонепроницаемости, что, в общем случае, увеличивает коррозионную устойчивость асфальтобетона в покрытии. Гидрофобизация и активация минеральных порошков заключается в обработке поверхности частиц веществами, изменяющими их химическую и физическую структуру. Для этих целей используются различные реагенты, в том числе кислоты, щелочи и соли, которые способствуют повышению реакционной способности порошков в асфальтобетонной смеси. Такая обработка не только улучшает их взаимодействие с битумными связующими, но и способствует уменьшению пористости и улучшению эксплуатационных показателей асфальтобетонных покрытий, повышает устойчивость покрытий к воздействиям окружающей среды, а в совокупности увеличивает срок их службы.

Среди недостатков можно отметить увеличивающуюся стоимость таких материалов и потенциальную агрессивность активаторов к окружающей среде.

Технологический контроль за процессом активации критичен для обеспечения качества и однородности конечного продукта и играет ключевую роль в производстве активированного порошка. Он должен включать анализ физико-химических свойств материала, таких как размер частиц, химический состав и активность. В долгосрочной перспективе использование активированных порошков может быть экономически целесообразным техническим решением за счет снижения затрат на ремонт и содержание дорожных покрытий.

Библиографический список:

1. Высоцкая М.А., Лесовик В.С., Катрич Я.М., Егоров Д.Ю. Влияние минеральных порошков на устойчивость битумного вяжущего к термическим деформациям // «Вестник СибАДИ». 2024;21(5):770-785. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-770-785>. EDN: RSHWAO
2. Zhao Wenbin. The effect of fundamental mixture parameters on hot-mix asphalt performance properties: Doctor of Philosophy dissertation in civil engineering. 2011.
3. 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:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604052>
4. Pirmohammad S., Khoramishad H., Ayatollahi M.R. Effects of asphalt concrete characteristics on cohesive zone model parameters of hot mix asphalt mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2016;43(3): 226–232
5. Mechanical tests for bituminous mixes. characterization, design and quality control: Proceedings of the Fourth International RILEM Symposium / E. Eustacchio, H.W. Fritz eds. Taylor & Francis, 2004. 672 p
6. Акимов А. Е., Ядыкина В. В., Гридчин А. М. Применение токов СВЧ для повышения характеристик дорожных битумов // Construction materials. 2010. №1. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tokov-svch-dlya-povysheniya-harakteristik-dorozhnyh-bitumov> (дата обращения: 01.12.2024).
7. Копылов В.Е. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов / В.Е. Копылов, О.Н. Буренина, Е.А. Павлова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. - Том 9, № 5. – URL.: <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf>
8. Гезенцев Л.Б. Дорожный асфальтобетон. / Л.Б. Гезенцев. – Москва: Транспорт, 1985. – 350 с.
9. Ковалев Я.Н. Инновационные технологии в дорожном материаловедении // Наука и техника – 2015. – С. 9-15.
10. Weiguang Zhang. Effect of tack coat application on interlayer shear strength of asphalt pavement: A state-of-the-art review based on application in the United States // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2017. – Vol. 10, iss. 5. – P. 434–445. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.003>
11. Миронов В.А. Улучшение качества асфальтобетона регулированием свойств сырьевых материалов / В.А. Миронов, А.И. Голубев, А.Г. Тимофеев // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 26-27.
12. Гезенцев Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – Москва.: Стройиздат. – 1971. – 255 с.
13. Junfeng Gao. Effects of coarse aggregate angularity on the microstructure of asphalt mixture / Junfeng Gao, Hainian Wang, Yin Bu, Zhanping You, MohdRosliMohd Hasan, Muhammad Irfan. *Construction and Building Materials*. 2018; 183: 472–484. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.170>
14. Оценка влияния степени гидратации цемента на свойства получаемого на его основе минерального наполнителя для асфальтобетонов Иноземцев С.С., Королев Е.В. Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2017. № 4-5 (56-57). С. 77-84.
15. Пат. 2 671 227 Российская Федерация, МПК C04B 26/26 (2006.01) C04B 20/10 (2006.01) C04B 14/26 (2006.01) C04B 11/20 (2006.01). Активированный минеральный порошок для асфальтобетонных смесей и способ его получения. / Барин В.В., Евтухович А.Р., Емельянов А. Н., Перьков А.Л., Серикова Е.Д.; ООО "Воронежский завод минерального порошка". № 2017128040; заявл. 04.08.2017; опубл. 30.10.2018 Бюл. № 31.
16. Пат. 2 568 620 Российская Федерация, МПК C04B 26/26(2006.01) C04B 20/02(2006.01) C04B 14/28(2006.01) C04B 14/40(2006.01) C04B 16/06(2006.01) C04B 11/20(2006.01). Способ получения и состав активированного армированного минерального порошка. / В.А. Полубабкин, А.А.Еремян, А.Ю. Дедюхин // №2014142679/03; заявл. – 2014.10.22; опубл. 2015.11.20
17. Пат. 2 715 403 Российская Федерация, МПК C04B 26/26(2006.01). Минеральный порошок для асфальтобетонной смеси. / Шаталов А. А., Серикова Е. Д.; ООО "Воронежский завод минерального порошка". № 2019132545, заявл. 2019.10.14; опубл. 2020.02.27
18. SU381674 A1 , МПК C04B 20/02(2006.01) C08L 95/00(2006.01) 1970.07.20. Способ активации минеральных порошков. /Ставицкий В.Д. Заявка: 1461729/29-33, Дата подачи заявки: 1970.07.20 Опубликовано: 1973.05.22. тор: Ставицкий В.Д.
19. SU 1713232 A1 МПК C04B 26/26(2006.01). Минеральный порошок для асфальтобетонной смеси. / Сотникова В.Н., Нээдрит Э.Р. Пяркман А.Я. Заявка: 04458775, Дата подачи заявки: 1988.07.11 Опубликовано: 1993.11.30.
20. Ядыкина В.В. Повышение эффективности минерального порошка из техногенного сырья за счет его гидрофобизации / В. В. Ядыкина, А. М. Гридчин, Е. В. Кузнецова [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 24-30.
21. Пат. 2 627 881 Российская Федерация, МПК C08L 95/00(2006.01) C08J 11/00(2006.01) C04B 26/26(2006.01). Способ получения активированного органоминерального порошка для асфальтобетонных смесей / Ишков А.Г., Акопова Г.С., Стрекалова Л.В., Голушко В.В. Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий Заявка: 2016139806, 2016.10.10. Дата подачи заявки: 2016.10.10. Опубликовано: 2017.08.14.

22. Высоцкая, М.А. Известь в асфальтобетоне - такая простая и сложная / М.А. Высоцкая, В.В. Ядыкина, Д.А. Кузнецов // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 56-58. – EDN НТQGYH.
23. Ширяев А.О., М.А. Высоцкая. Минеральный порошок в современной системе проектирования асфальтобетонных систем.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. - № 2. – С. 8-19. URL: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19>.
24. Пат. 2 131 854 Российская Федерация, МПК C04B 20/10(2006.01) C04B 26/26 (2006.01). Способ получения минерального порошка для асфальтобетонных смесей. / Руденский А.В., Горлов Е.Г., Головин Г.С., Шур Б.В., Миронов Ю.П. Начало действия: 1998.07.06 Публикация: 1999.06.20 Подача: 1998.07.06.
25. Пат. 2 450 991 Российская Федерация, МПК C04B 26/26(2006.01). Заявка: 2010132428/03, 2010.08.02. Способ получения минерального порошка для асфальтобетонной смеси. / Ядыкина В.В. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". Дата подачи заявки: 2010.08.02 Опубликовано: 2012.05.20.
26. Пат. 2 256 628 Российская Федерация, МПК C04B 26/26(2006.01). Активированный минеральный порошок для асфальтобетонной смеси. / Сергута А.М., Дымов С.А. Дата подачи заявки: 2004.04.22. Опубликовано: 2005.07.20
27. Пат. 2 173 306 Российская Федерация, МПК C04B 20/ 10(2000.01) C04 B 26/26(2000.01). Способ производства активированного минерального порошка для асфальтобетонных смесей / Дубов В.А. Соколов Н.В. Чулков В.В. Закрытое акционерное общество "Волгоцемсервис". Заявка: 98121739/03, 1998.11.24. Дата подачи заявки: 1998.11.24. Опубликовано: 2001.09.10.
28. Пат. 49835 Российская Федерация, МПК E01C 19/10(2000.01). Технологическая линия для производства активированного минерального порошка, используемого для приготовления асфальтобетонных смесей /Кузнецов И.О., Дружбин Г.А., Карапира Н.И., Миронов С.Г. Заявка: 2005116516/22, 2005.05.31. Дата подачи заявки: 2005.05.31. Опубликовано: 2005.12.10.

References:

1. Vysotskaya M.A., Lesovik V.S., Katrich Ya.M., Egorov D.Yu. Influence of mineral powders on the thermal deformation resistance of bituminous binders. Scientific peer-reviewed journal "Bulletin of SibADI". 2024;21(5):770-785. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-770-785>. EDN: RSHWAO (In Russ)
2. Zhao Wenbin. The effect of fundamental mixture parameters on hot-mix asphalt performance properties: Doctor of Philosophy dissertation in civil engineering. 2011.
3. 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. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. 04052. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604052>
4. Pirmohammad S., Khoramishad H., Ayatollahi M.R. Effects of asphalt concrete characteristics on cohesive zone model parameters of hot mix asphalt mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2016;43(3): 226–232.
5. Mechanical tests for bituminous mixes. characterization, design and quality control: Proceedings of the Fourth International RILEM Symposium / E. Eustacchio, H.W. Fritz eds. Taylor & Francis, 2004. 672 p
6. Akimov A.E., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Application of microwave currents to improve the properties of road bitumens. Construction materials. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tokov-svch-dlya-povysheniya-harakteristik-dorozhnyh-bitumov> (accessed: 01.12.2024). (In Russ)
7. Kopylov V.E. Activation of mineral powders as a method for improving the physicomechanical properties of asphalt concretes. V.E. Kopylov, O.N. Burenina, E.A. Pavlova. Online journal "Naukovedenie". 2017; 9(5). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf> (In Russ)
8. Gezentsvey L.B. Road asphalt concrete. L.B. Gezentsvey. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (In Russ)
9. Kovalev Ya.N. Innovative technologies in road materials science. Science and Technology. 2015;9-15(In Russ).
10. Weiguang Zhang. Effect of tack coat application on interlayer shear strength of asphalt pavement: A state-of-the-art review based on application in the United States. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2017;10(5):434–445. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.003>
11. V.A. Mironov, A.I. Golubev, A.G. Timofeev. Improving the quality of asphalt concrete by regulating the properties of raw materials. *Construction Materials*. 2007; 5:26-27. (In Russ) (In Russ)
12. L.B. Gezentsvey. Asphalt concrete from activated mineral materials. Moscow: Stroyizdat. 1971;255. (In Russ)
13. Junfeng Gao, Hainian Wang, Yin Bu, Zhanping You, MohdRosliMohd Hasan, Muhammad Irfan. Effects of coarse aggregate angularity on the microstructure of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*. 2018;183: 472–484. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.170>(In Russ)
14. S.S. Inozemtsev, E.V. Korolev. Assessment of the influence of the degree of cement hydration on the properties of mineral filler for asphalt concrete obtained on its basis. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2017; 4-5 (56-57):77-84. (In Russ)

15. Pat. 2 671 227 Russian Federation, IPC C04B 26/26 (2006.01) C04B 20/10 (2006.01) C04B 14/26 (2006.01) C04B 111/20 (2006.01). Activated mineral powder for asphalt concrete mixtures and method for its production. Barinov V.V., Evtukhovich A.R., Emelyanov A.N., Perkov A.L., Serikova E.D.; LLC "Voronezh Mineral Powder Plant". No. 2017128040; appl. 08/04/2017; publ. 10/30/2018 Bull.31. (In Russ)
16. Pat. 2 568 620 Russian Federation, IPC C04B 26/26 (2006.01) C04B 20/02 (2006.01) C04B 14/28 (2006.01) C04B 14/40 (2006.01) C04B 16/06 (2006.01) C04B 111/20 (2006.01). Method for producing and composition of activated reinforced mineral powder. V.A. Polubabkin, A.A. Eremyan, A.Yu. Dedyukhin // No. 2014142679/03; appl. – 2014.10.22; publ. 2015.11.20(In Russ)
17. Pat. 2 715 403 Russian Federation, IPC C04B 26/26 (2006.01). Mineral powder for asphalt concrete mixture. / Shatalov A.A., Serikova E.D.; LLC "Voronezh Mineral Powder Plant". No. 2019132545, appl. 2019.10.14; publ. 2020.02.27. (In Russ)
18. SU381674 A1, IPC C04B 20/02 (2006.01) C08L 95/00 (2006.01) 1970.07.20. Method for activating mineral powders. /Stavitsky V.D. Application: 1461729/29-33, Filing date:1970.07.20 Published:1973.05.22. Author: Stavitsky V.D. (In Russ)
19. SU 1713232 A1 IPC C04B 26/26 (2006.01). Mineral powder for asphalt concrete mixture.Sotnikova V.N., Neidrit E.R., Parkman A.Ya. Application:04458775, Filing date:1988.07.11Published:1993.11.30.(In Russ)
20. V.V. Yadykina, A.M. Gridchin, E.V. Kuznetsova [et al.]. Improving the efficiency of mineral powder from technogenic raw materials through its hydrophobization. *Construction Materials and Products*. 2020;13(4):24-30. (In Russ)
21. Pat. 2 627 881 Russian Federation, IPC C08L 95/00(2006.01) C08J 11/00 (2006.01) C04B 26/26 (2006.01). Method for producing activated organic-mineral powder for asphalt concrete mixtures. / Ishkov A.G., Akopova G.S., Strekalova L.V., Golushko V.V. Limited Liability Company "Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies". Application: 2016139806, 2016.10.10. Filing date: 2016.10.10. Published: 2017.08.14. (In Russ)
22. M.A. Vysotskaya, V.V. Yadykina, D.A. Kuznetsov. Lime in asphalt concrete - so simple and complex. *Construction Materials*. 2006. No. 3. P. 56-58. EDN HTQGYH. (In Russ)
23. A.O. Shiryayev, M.A. Vysotskaya. Mineral powder in the modern design system of asphalt concrete mixtures. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022; 2:8-19. URL: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19>. (In Russ)
24. Pat. 2 131 854 Russian Federation, IPC C04B 20/10 (2006.01) C04B 26/26 (2006.01). Method for producing mineral powder for asphalt concrete mixtures. Rudensky A.V., Gorlov E.G., Golovin G.S., Shur B.V., Mironov Yu.P. Application date: 1998.07.06 Publication: 1999.06.20 Filing: 1998.07.06. (In Russ)
25. Pat. 2 450 991 Russian Federation, IPC C04B 26/26 (2006.01). Application: 2010132428/03, 2010.08.02. Method for producing mineral powder for asphalt concrete mixture. Yadykina V.V. State Educational Institution of Higher Professional Education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov". Filing date: 2010.08.02 Published: 2012.05.20. (In Russ)
26. Pat. 2 256 628 Russian Federation, IPC C04B 26/26 (2006.01). Activated mineral powder for asphalt concrete mixture. Serguta A.M., Dymov S.A. Filing date: 2004.04.22. Published: 2005.07.20. (In Russ)
27. Pat. 2 173 306 Russian Federation, IPC C04B 20/10 (2000.01) C04B 26/26 (2000.01). Method for production of activated mineral powder for asphalt concrete mixtures. Dubov V.A., Solodkov N.V., Chulkov V.V. Closed Joint Stock Company "Volgotseservice". Application: 98121739/03, 1998.11.24. Filing date: 1998.11.24. Published: 2001.09.10. (In Russ)
28. Pat. 49835 Russian Federation, IPC E01C 19/10 (2000.01).Technological line for production of activated mineral powder used for preparation of asphalt concrete mixtures. Kuznetsov I.O., Druzhbin G.A., Karapira N.I., Mironov S.G. Application:2005116516/22,2005.05.31.Filing date:2005.05.31.Published: 2005.12.10. (In Russ)

Сведения об авторах:

Марина Алексеевна Высоцкая, кандидат технических наук, доцент, доцент, кафедра «Автомобильные и железные дороги»; goruri@rambler.ru

Ярослав Михайлович Катрич, аспирант; yaroslavkatrich@mail.ru

Кристина Владимировна Мешкова, аспирант; kristinka.msh@mail.ru

Information about authors:

Marina A. Vysotskaya, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department «Automobiles and railways»; roruri@rambler.ru

Yaroslav M. Katrich, Postgraduate Student; yaroslavkatrich@mail.ru

Kristina V. Meshkova, Postgraduate Student; kristinka.msh@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 30.04.2025.

Одобрена после рецензирования / Reviced 27.05.2025.

Принята в печать /Accepted for publication 10.06.2025.