

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2024, Том 11, № 1 / 2024, Vol. 11, Iss. 1 <https://t-s.today/issue-1-2024.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS124.pdf>

DOI: 10.15862/01SATS124 (<https://doi.org/10.15862/01SATS124>)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Применение холодной влажной асфальтобетонной смеси с модифицированным дисперсным вязким битумом для оперативного ямочного ремонта

¹Кочетков А.В., ²Васильев Ю.Э., ²Малазonia Г.Ш.

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кочетков Андрей Викторович, e-mail: soni.81@mail.ru

Аннотация. Одним из направлений обеспечения оперативного ямочного ремонта дорожных покрытий в весенний период является возможность разработки материалов и технологий складываемых влажных холодных асфальтобетонных смесей со сроком хранения в буртах до нескольких лет по технологии научной школы профессора Саратовского государственного технического университета Горнаева Николая Алексеевича.

В настоящей статье рассмотрены вопросы применения холодной влажной асфальтобетонной смеси с модифицированным дисперсным вязким битумом для ямочного ремонта в г. Кувандык Оренбургской области. Время ремонта ямы после ее обнаружения составило 10 минут.

По мнению дорожных рабочих с многолетним стажем, ручная укладка асфальтовой смеси с дисперсным битумом по трудоемкости не отличалась

от работы с горячей смесью, а условия труда с холодной смесью оказались значительно лучше.

При уплотнении рабочей смеси вода из композиции выводится на поверхность устроенного асфальтобетонного слоя и, в дальнейшем, испаряется, а частицы вязкого битума в оболочке из минерального материала разрушаются и дают в пределе обычное пленочное покрытие минеральных частиц в виде мастики, различных видов асфальтобетона и других асфальтовых материалов. Авторами по данной технологии получено два патента. При обследовании результатов ремонта через три года было установлено, что объект находится в хорошем состоянии.

Ключевые слова: битумная суспензия; приготовление; свойства; диспергирование; вязкий битум; модификатор; эмульгатор; агрегатное состояние; дисперсные асфальтобетонные смеси; минеральный порошок

Application of cold wet road concrete mix with modified dispersed viscous bitumen for operative patch works

¹Andrey V. Kochetkov, ²Yuri E. Vasiliev, ²Georgy Sh. Malazonia

¹Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia

²Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia

Corresponding author: Andrey V. Kochetkov, e-mail: soni.81@mail.ru

Abstract. One of the directions of road surfaces operative patch works provision in spring period is the possibility of materials and technologies development of warehoused cold wet road concrete mix with clamp storage period is up to several years according to the technology of scientific school of professor Gornayev Nikolay Alekseevich of Saratov State Technical University.

In this article the questions of cold wet road concrete mix application with modified dispersed viscous bitumen for patch work in Kuvandyk town of Orenburg region are considered. The time to repair the pothole after its discovery was 10 minutes.

According to road workers with many years of experience, manual laying of asphalt mix with dispersed bitumen was not different in labour intensity from work

with hot mix, while working conditions with cold mix were much better.

Working mixture compaction brings water from the composition to the surface of the arranged asphalt concrete layer and, further, evaporates, and particles of viscous bitumen in the mineral material shell are destroyed and at the limits give the usual film coating of mineral particles in the form of mastic, various types of asphalt concrete and other asphalt materials. Two patents have been obtained by the authors on this technology. When the repair results were examined after three years, the facility was found to be in good condition.

Keywords: bitumen suspension; preparation; properties; dispersal; viscous bitumen; modifier; emulsifier; aggregative state; dispersed asphalt concrete mixtures; mineral powder

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

В дорожном строительстве на стадиях ремонта и строительства дорог применяются различные вяжущие материалы. В качестве основного вяжущего применяют вязкий битум, между тем создание дорожных материалов с ним затруднена из-за его высокой вязкости в холодном состоянии.

Улучшение свойств холодных органоминеральных материалов, ведущее к превращению их в высококачественные дорожно-строительные материалы, обладающие заранее заданными свойствами, достигается в результате сложного комплекса физико-химических и механических воздействий, объединенных в единый технологический процесс. Поэтому эффективная и экономичная технология улучшения холодных органоминеральных материалов при строительстве автомобильных дорог может быть разработана на основе новых теоретических и практических положений переработки веществ в прочные и долговечные материалы. Данная тема связана с циклом дорожных исследований авторов настоящей статьи взаимодействия зерна каменного материала и вяжущего, а именно, когда диспергированную каплю вязкого битума покрывает опудренный слой из минерального материала или микропорошка, которые находятся в водной среде.

Следует отметить, что организация ямочного ремонта особенно затруднена в ранний весенний период, когда запуск асфальтобетонного завода и битумного хозяйства энергоемок и экономически неэффективен.

Более рационально применение складированных холодных асфальтобетонных смесей с длительным до трех лет сроком хранения в буртах или в мешках на складе. В этом случае время устранения накопленной за зимний период эксплуатации поврежденности в виде ямочности и просадок занимает не более 10 минут после обнаружения.

Достаточно полный перечень публикаций по данной теме приведен в перечне [1–10]. Наиболее близкие публикации из наукометрических баз данных приведены в перечне [10–18].

Методы и решения

Methods and solutions

Такая задача может быть решена применением технологии холодных влажных асфальтобетонных смесей с дисперсным вязким битумом, ранее созданной в научной школе Саратовского государственного технического университета под руководством

профессора Горнаева Николая Алексеевича¹ (ТУ 218 РСФСР 583-87 Смеси асфальтобетонные дорожные холодные с вязким битумом).

В настоящей статье применяются следующие определения:

Дисперсный (диспергированный) битум: Суспензия в виде композиции однородного фракционированного минерального порошка и битумных частиц в мелкодисперсном состоянии, окруженных тонкой пленкой воды, получаемая путем введения горячего битума в увлажненный твердый эмульгатор (суспензиатор, минеральный порошок и/или микропорошок и/или его смеси с другими минеральными компонентами):

- **битумоминеральные смеси с дисперсным битумом:** рационально подобранная смесь минеральных материалов (воды, щебня, песка, отсевов дробления и минерального порошка, грунта, дисперсного битума на основе битума нефтяного дорожного, модифицирующих добавок, перемешанных в определенных пропорциях);
- **асфальтобетон на основе дисперсного битума:** уплотненные и сформировавшиеся под воздействием тепла окружающего воздуха (высыхания и приобретения состояния пленочного обволакивания битумом частиц минеральных компонентов) битумоминеральные смеси с дисперсным битумом.

Дисперсный битум используют сразу после приготовления либо хранят в состоянии, не позволяющем испаряться содержащейся в ней воде.

Асфальтобетон на основе дисперсного битума используется в конструкции автомобильных дорог, в том числе в качестве защитных слоев и тонких слоев износа.

Покрытия из асфальтобетона на основе вязкого дисперсного битума на твердых суспензиаторах являются ремонтпригодными.

Дисперсный битум после высыхания пленки воды имеет хорошую адгезию к бетону, асфальтобетону и другим материалам. Образующий в результате отверждения асфальтобетон на основе дисперсного битума является высокопрочным, химически стойким, гидрофобным и экологически чистым, соответствующим существующим нормативным требованиям на асфальтобетон.

¹ Горнаев, Н.А. Технология асфальта с дисперсным битумом: учебное пособие / Н.А. Горнаев. — Саратов, СГТУ, 1997. — 61 с.

Такие смеси могут производиться в мешалке обычного асфальтобетонного завода путем смешивания по технологии связного дозирования холодной части минеральных материалов с вязким битумом, например БНД 60-90, нагретым более 155°C.

Минеральные составляющие могут подаваться в смесительный барабан различными способами: самим автобетоносмесителем, снабженным загрузочным ковшем; фронтальным погрузчиком; транспортером.

Подача воды может осуществляться либо из бака, входящего в конструкцию автобетоносмесителя либо с помощью поливочной машины.

Подача битума в горячем состоянии в смесительный барабан автобетоносмесителя может производиться с помощью автогудронатора (битумовоза) в цистерне которого может поддерживаться температура битума до 190°C.

Возможно приготовление любых битумо-минеральных смесей с дисперсным битумом с использованием битумной суспензии в любых смесительных установках, в том числе в автобетоносмесителе, а также способом смешения на автомобильной дороге с применением простого оборудования (фрезы, автогрейдер). В этом случае возможно использование минеральных материалов с естественной влажностью без дополнительного введения воды.

Транспортирование готовой асфальтобетонной смеси с дисперсным битумом к месту укладки может осуществляться автомобилями-самосвалами, а также автобетоновозами.

Распределение готовой смеси на дороге в основание или покрытие может осуществляться асфальтоукладчиками и автогрейдерами.

Уплотнение может осуществляться катками на пневмошинах и (или) гладковальцовыми катками.

Приготовление материалов возможно в условиях типового асфальтобетонного завода или в смесительных установках, оснащенных системой подачи воды.

Суть инновационного метода в том, что составляющие асфальтобетона — щебень, песок и минеральный порошок — подаются в смеситель асфальтового завода не в нагретом до 160–185°C виде, а при температуре окружающей среды. Благодаря этому удастся достичь 50 % экономии в сравнении с традиционной «горячей» технологией асфальта. Нагреванию подвергается только битум, который необходимо добавить в смесь в количестве 5–6 %. На выходе получается продукт, который может использоваться для ремонта и строительства дорожных покрытий так же,

как и обычные асфальтовые смеси, и применяться для экстренных работ в холодные периоды года, когда асфальтобетонные заводы не работают.

При этом качество остается на том же уровне, как при использовании обычной горячей асфальтобетонной смеси. Внедряемую смесь легко транспортировать, в том числе на большие расстояния: данная технология холодная, она не требует разогревания и может перевозиться в мешках или пластиковых емкостях.

Как только смесь выкладывается в ямы, вода начинает испаряться, участок приобретает темный оттенок и твердеет. Автомобили могут ездить по нему уже сразу после укладки, примерно через два часа отремонтированный участок полностью готов к эксплуатации.

Степень диспергации битума устанавливается в районе 1,0 мкм. Для исследовательских целей на проверяется цифровым портативным микроскопом с шаблоном. Для производства применяется упрощенный способ оценки степени диспергации вязкого битума: в фаянсовую чашечку емкостью 150–200 см³ помещается 30–50 см³ битумной суспензии, вводится 10–15 см³ воды, перемешивается шпателем. При удовлетворительной дисперсности отдельные частицы битума не различаются, на стенках чашки наблюдаются потеки черной воды, в смеси отсутствуют отдельные комочки и нити битума.

Новая технология основана на использовании дисперсных битумов. В рекомендуемых ГОСТ 9128 составах асфальтовых смесей отношение содержания битума к минеральному порошку (коэффициент концентрации), выполняющему роль эмульгатора, составляет: в асфальтах типа А — 0,45–1,5; типа Б — 0,42–1,1; типа В — 0,43–0,88; типов Г и Д — 0,38–1,13 без учета содержания пылеватых и глинистых частиц в песке и щебне.

Сущность технологии заключается в следующем:

Минеральные составляющие естественной температуры и влажности подаются в мешалку. Одновременно вводится дополнительное количество воды. Затем подается битум, температура которого в зависимости от состава смеси и характеристик смесительного оборудования составляет до 170°C, при перемешивании происходит его диспергирование, в объеме асфальтовой смеси образуется прямая битумная эмульсия, стабилизированная твердым эмульгатором, роль которого могут выполнять все обычно применяемые в горячем асфальтобетоне минеральные порошки.

Установлена возможность получения достаточной степени дисперсности битума и равномерности его распределения в асфальтобетонной смеси с менее жесткими требованиями по содержанию

минерального порошка, воды и интенсивности перемешивания при введении битума в распыленном состоянии.

При повышении содержания минерального порошка до 10 % дисперсность битума существенно улучшается. Дальнейшее увеличение содержания минерального порошка незначительно влияет на степень дисперсности битума и требует увеличения содержания воды. Для ускорения процессов формирования асфальтовых материалов в слоях дорожной одежды в минеральные составляющие должны иметь возможно меньшую пористость, минеральная смесь должна содержать минимальное количество тонкодисперсной фракции, частицы которой обладают длительной водоудерживающей способностью.

Влажность минеральной части назначается из условий диспергирования битума, энергетических и временных затрат на уплотнение, формирования достаточной для движения транспорта прочности, образования и адгезии битумной пленки на минеральной поверхности. Для получения необходимой степени дисперсности битума влажность минеральной части должна находиться в пределах 4–7 % и 7–10 % при содержании минеральных частиц размером мельче 0,71 мм соответственно 4–9 % и 9–12 %.

Применяемый для целей настоящей статьи препарат «Эмма», как модификатор битума, подлежащего диспергированию, использовался при приготовлении смесей с диспергированным битумом.

Модификатор «Эмма» рекомендуется применять в виде разбавленного в подсолнечном масле раствора. Раствор модификатора при его использовании активно влияет на способность битума к диспергированию и взаимодействию с увлажненными минеральными материалами. Жидкость называется «прядомой», если она способна к большим необратимым деформациям при действии растягивающих напряжений без нарушения сплошности. Происходит увеличение прядомости битума, что приводит к тонкому его диспергированию в процессе перемешивания с увлажненными минеральными материалами, содержащими необходимое количество твердого эмульгатора. Битум легко диспергируется, создавая благоприятные условия для равномерного распределения в асфальтовой смеси.

Введение в битум модификатора «Эмма» для обеспечения высокой степени дисперсности битума и повышения физико-механических свойств асфальтовых материалов, способствует достижению более высоких показателей плотности, влагостойкости и морозостойкости, а также позволяет повысить прочность обработанного материала, модуль упругости слоя.

Модификатор «Эмма» используется в виде раствора в подсолнечном масле, из расчёта 2 кг модификатора на 1 т битума. Нужно количество модификатора с помощью топора разделяется на фрагменты размером до 5 см, помещается в емкость, содержащую подсолнечное масло в количестве 10 % от массы модификатора и выдерживает не менее 12 ч для получения однородной массы. Необходимое количество раствора модификатора выливается в цистерну битумовоза через загрузочный люк. Для равномерного распределения модификатора в битуме необходимо перемешивание с помощью битумного насоса в течение 30 минут.

При проведении работ на асфальтобетонном заводе Куvandкского управления ГУП «Оренбургремдорстрой» была установлена возможность модифицирования вязкого битума модификатором «Эмма» путем его введения непосредственно в нагретое вяжущее.

Процесс приготовления битумоминеральных смесей с дисперсным битумом может быть предельно упрощен с использованием машин многофункционального назначения, в том числе и специализированных автотранспортных средств (автобетоносмесители, автогудронаторы, автобетоновозы).

С учетом рекомендуемых составов асфальтовых смесей по ГОСТ 9128 целесообразно применять битумные пасты с коэффициентом концентрации 0,7–1,0. Такие пасты являются универсальными, обеспечивающими получение любых асфальтовых материалов. Важно отметить, что такие пасты приготавливаются с менее жесткими требованиями к параметрам технологического процесса (интенсивность перемешивания, температура, влажность суспензии, количество циклов подачи воды и битума).

При применении данной технологии при приготовлении смеси в качестве заполнителя использовался щебень и минеральный порошок из известняка и горный песок, а также битум БНД 90/130. При приготовлении смеси на заводе не было никаких вопросов. Возросла производительность завода, вопросы о пыли и гари отпали, поскольку материалы не сушились и сушильный барабан был демонтирован и сжигание мазута не производилось. С пылью, вопрос был решен радикально, поскольку материал в мешалку подавался естественной влажности, а в мешалку еще в процессе перемешивания подавалась вода.

Холодный асфальт на вязком битуме не смерзается под действием отрицательных температур в определенном диапазоне. При устройстве нижнего слоя покрытия из крупнозернистой холодной смеси применялся автогрейдер и каток на пневмошинах.

Научной новизной, заявляемой в настоящей статье, является возможность повышения степени диспергирования вязкого битума до значений менее 1 мкм, а также установление возможности модифицирования вязкого битума модификатором «Эмма».

Экспериментальные работы проводились в 2019–2021 г. в п. Краснощеково Оренбургской области, где на АБЗ в смесительной установке ДС-158 приготавливались асфальтобетонная смесь с модифицированным дисперсным вязким битумом и битумная суспензия (рис. 1).



Рисунок 1. Загрузка компонентов и получение смеси на основе дисперсного вязкого битума (рисунок авторов)

Figure 1. Loading of components and obtaining a mixture based on dispersed viscous bitumen (photo made by the authors)

Отбор холодной влажной асфальтобетонной смеси с модифицированным дисперсным вязким битумом (аналог Б2) из бурта хранения приведен на рисунке 2.



Рисунок 2. Отбор холодной влажной асфальтобетонной смеси с дисперсным вязким битумом (аналог Б2) из бурта хранения (рисунок авторов)

Figure 2. Cold wet road concrete mix selection with dispersed viscous bitumen (analogue B2) from the clamp storage (photo made by the authors)

Подготовка ямы перед заполнением ремонтной асфальтобетонной смесью (холодный влажный аналог Б2) представлена на рисунке 3.

Подготовка ямы перед проведением ремонта производилась путем удаления разрушенного асфальтобетона из ямы ее очистки и продувки, а также путем увлажнения дна и стенок ямы обычной водой.



Рисунок 3. Подготовка ямы перед заполнением ремонтной асфальтобетонной смесью (рисунок авторов)

Figure 3. Pothole preparation before filling with repair asphalt concrete mixture (photo made by the authors)

Заполнение ямы ремонтной асфальтобетонной смесью представлено на рисунке 4.



Рисунок 4. Заполнение ямы ремонтной асфальтобетонной смесью (рисунок авторов)

Figure 4. Filling pothole with repair asphalt concrete mixture (photo made by the authors)

Результат ремонта ямы ремонтной асфальтобетонной смесью представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Результат ремонта ямы ремонтной асфальтобетонной смесью (уплотнение виброплитой) (рисунок авторов)

Figure 5. Pothole repair result with repair asphalt concrete mixture (compaction with a plate compactor) (photo made by the authors)

Для подсушивания еще влажной смеси и сокращения времени консолидации смеси применялась дополнительная подсыпка песком (рисунок 5).

Обсуждение результатов

Discussion of results

Время ремонта ямы после ее обнаружения составило 10 минут. Движение было открыто сразу после выполнения работ. Следов от проезжающего транспорта на участках ремонта не возникало.

В настоящее время участки ремонта находятся в требуемом состоянии, структура слоя сформировалась, дисперсный вязкий битум начал переходить в пленочное состояние.

По мнению дорожных рабочих с многолетним стажем, ручная укладка асфальтовой смеси с дисперсным битумом по трудоемкости не отличалась от работы с горячей смесью, а условия труда с холодной смесью оказались значительно лучше.

При уплотнении рабочей смеси вода из композиции выводится на поверхность устроенного асфальтобетонного слоя и, в дальнейшем, испаряется, а частицы вязкого битума в оболочке из минерального материала под воздействием тепла и нагрузки от транспортных средств дают в пределе обычное пленочное покрытие минеральных частиц.

Выводы

Conclusions

1. Одним из направлений обеспечения оперативного ямочного ремонта дорожных покрытий в весенний период является возможность разработки материалов и технологий складываемых влажных холодных асфальтобетонных смесей с модифицированным дисперсным вязким битумом со сроком хранения в буртах до нескольких лет по технологии научной школы профессора Саратовского государственного технического университета Горнаева Николая Алексеевича.

2. При проведении работ на асфальтобетонном заводе Кувандыкского управления ГУП «Оренбургремдорстрой» была установлена возможность модифицирования вязкого битума модификатором «Эмма» путем его введения непосредственно в нагретое вяжущее.

3. Подготовка ямы перед проведением ремонта производилась путем удаления разрушенного асфальтобетона из ямы, ее очистки и продувки, а также путем увлажнения дна и стенок ямы обычной водой.

4. Авторами по данной технологии получены патенты РФ № 2662493 Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия. Опубл. 26.07.2018. Бюл. № 21 и № 2714547 Способ строительства дорожной одежды и конструкция. Опубликовано 18.02.20210. Бюл. № 5.

5. Перспективы настоящей темы заключаются в ее экологичности, применению на территориях, где недопустима установка асфальтобетонных заводов, работающих по горячей технологии, это позволяет существенно сократить вредные выбросы в окружающую среду и эффективно решать транспортные проблемы в населенных пунктах.

6. Время ремонта ямы после ее обнаружения составило 10 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симчук, Е.Н. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях / Е.Н. Симчук, А.В. Харпаев, И.М. Рожков // Дороги и мосты. — 2022. — № 2. — С. 274–306. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49855848>. — EDN HUWSYA. (дата обращения: 15.12.2023).

2. **Андронов, С.Ю.** Технология дисперсно-армированного композиционного холодного щебеночно-мастичного асфальта / С.Ю. Андронов. — DOI https://doi.org/10.12737/article_58e61337c2ccd6.5582_2991 // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. — 2017. — № 4. — С. 67–71. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28904332>. — EDN YINIWT. (дата обращения: 15.12.2023).
3. **Андронов, С.Ю.** Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом / С.Ю. Андронов, Ю.А. Трофименко, А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.15862/105TVN216> // Интернет-журнал Науковедение. — 2016. — Т 8. — № 2. — С. 105TVN216. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/105TVN216.pdf>. — EDN VZXEMJ. (дата обращения: 15.12.2023).
4. **Кочетков, А.В.** Битумная суспензия на твердом эмульгаторе / А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.15862/15SATS418> // Транспортные сооружения. — 2018. — Т 5. — № 4. — С. 15SATS418. — URL: <https://t-s.today/15SATS418.html>. — EDN DXHPRG. (дата обращения: 15.12.2023).
5. Битумная суспензия: монография / А.В. Кочетков, С.Ю. Андронов, А.Ф. Иванов [и др.]. — Саратов: Саратовский гос. технический ун-т имени Гагарина Ю.А., 2019. — 192 с. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010420840/ (дата обращения: 15.12.2023).
6. **Андронов, С.Ю.** Ремонт автомобильной дороги с применением фибросодержащих асфальтобетонных смесей с диспергированным вяжущим / С.Ю. Андронов, А.Ф. Иванов, А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-62-67> // Строительные материалы. — 2020. — № 4-5. — С. 62–67. — URL: <https://journal-cm.ru/index.php/ru/zhurnaly/2020/vse-stati-za-2020/remont-avtomobilnoj-dorogi-s-primeneniem-fibrosoderzhashchikh-asfaltobetonnnykh-smesey-s-dispergirovannym-vyazhushchim>. — EDN AWWZHB. (дата обращения: 15.12.2023).
7. **Андронов, С.Ю.** Равномерное распределение фибры в холодных асфальтобетонных смесях с вязким микродиспергированным битумом / С.Ю. Андронов, В.И. Алферов, А.В. Кочетков [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.15862/17SATS120> // Транспортные сооружения. — 2020. — Т 7. — № 1. — С. 17SATS120. — URL: <https://t-s.today/17sats120.html>. — EDN YYNIHR. (дата обращения: 15.12.2023).
8. Особенности модификации дорожного битума полиэтиленерефталатом / И.В. Голиков, А.А. Игнатьев, В.М. Готовцев, А.Р. Калашян // Дороги и мосты. — 2019. — № 2. — С. 192–202. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45638089>. — EDN TQZMBV. (дата обращения: 15.12.2023).
9. **Игнатьев, А.А.** Повышение эффективности уплотнения несвязных грунтов за счет регулирования межфазного взаимодействия частиц / А.А. Игнатьев, Г.В. Пренглаев // Дороги и мосты. — 2018. — № 1. — С. 10. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37001850>. — EDN POWGIJ. (дата обращения: 15.12.2023).
10. Перспективы использования фосфогипса в производстве асфальтобетона / Д.В. Герасимов, А.А. Игнатьев, В.М. Готовцев, И.В. Голиков // Дороги и мосты. — 2018. — № 2. — С. 304–315. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45648768>. — EDN KXRNTB. (дата обращения: 28.12.2023).
11. **Fu, Z.** Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis / Z. Fu, Y. Dang, B. Guo, Y. Huang. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.002> // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). — 2016. — Т 3. — № 5. — С. 412–426. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416301908>. (дата обращения: 28.12.2023).
12. **Cheng, Y.** Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze–Thaw Cycles / Y. Cheng, D. Yu, G. Tan, C. Zhu. — DOI <https://doi.org/10.3390/ma11112148> // Material. — 2018. — Т 11. — № 11. — С. 2148. — URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/11/2148>. (дата обращения: 28.12.2023).
13. **Celauro, C.** Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses / C. Celauro, F.G. Praticò. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058> // Construction and Building Materials. — 2018. — Т 170. — С. 245–253. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818305415>. (дата обращения: 28.12.2023).

14. **Gong, Y.** Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology / Y. Gong, H. Bi, C. Liang, S. Wang. — DOI <https://doi.org/10.3390/app8112191> // Applied Sciences. — 2018. — Т 8. — № 11. — С. 2191. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2191>. (дата обращения: 28.12.2023).
15. **Qin, X.** Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers / X. Qin, A. Shen, Y. Guo, Z. Li, Z. Lv. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012> // Construction and Building Materials. — 2017. — Т 159. — С. 508–516. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817322225>. (дата обращения: 28.12.2023).
16. **Gong, Y.** Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles / Y. Gong, H. Bi, Z. Tian, G. Tan. — DOI <https://doi.org/10.3390/app8122581> // Applied Sciences. — 2018. — Т 8. — № 12. — С. 2581. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/12/2581>. (дата обращения: 28.12.2023).
17. **Razgovorov, P.B.** Using Granulate Composites with Calcined Phosphogypsum and Pet Additive in Asphaltting / P.B. Razgovorov, A.A. Ignatiev, V.M. Gotovtsev, E.A. Vlasova. — DOI <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1049.257> // Materials Science Forum. — 2022. — Т 1049. — С. 257–265. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.1049.257>. (дата обращения: 28.12.2023).
18. **Ignatyev, A.A.** Composite Aluminosilicate Materials for Sorption Extraction of Impurity Substances of Vegetable Oils / A.A. Ignatyev, P.B. Razgovorov, R.S. Nagornov [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.3390/resources11020009> // Resources. — 2022. — Т 11. — № 2. — С. 9. — URL: <https://www.mdpi.com/2079-9276/11/2/9>. (дата обращения: 28.12.2023).

Сведения об авторах:

Кочетков Андрей Викторович — профессор, доктор технических наук профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, e-mail: soni.81@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6523-6095>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080

Васильев Юрий Эммануилович — доцент, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Дорожно-строительные материалы», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: vashome@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1634-0152>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/I-8197-2013>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205604432>

Малазония Георгий Шалвович — аспирант, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: geo.rnd1749@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2964-669X>

Статья получена: 04.02.2024. Принята к публикации: 04.04.2024. Опубликовано онлайн: 18.04.2024.

REFERENCES

1. Simchuk E.N., Kharpaev A.V., Rozhkov I.M. Modern Approaches to Modeling the Aging of Bitumen Binders in The Laboratory. *Dorogi i mosty*. 2022;(2): 274–306. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49855848> (accessed 15th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Andronov S.Yu. [Technology of dispersed-reinforced composite cold crushed stone-mastic asphalt]. *Bulletin of BSTU Named After V.G. Shukhov*. 2017;(4): 67–71. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.12737/article_58e61337c2ccd6.55822991.
3. Andronov S.Y., Trofimenko Y.A., Kochetkov A.V. The Production Technology of Cold Composite Crushed-Stone and Mastic Asphalt with Disperse Bitumen. *Naukovedenie*. 2016;8(2): 105TVN216. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/105TVN216>.

4. Kochetkov A.V. Bituminous suspension of solid emulsifier. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018;5(4): 15SATS418. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/15SATS418>.
5. Kochetkov A.V., Andronov S.Yu., Ivanov A.F. et al. [Bitumen suspension: monograph]. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2019. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010420840/ (accessed 15th December 2023). (In Russ.).
6. Andronov S.Yu., Ivanov A.F., Kochetkov A.V. Highway Repair Using Fiber-Containing Asphalt Concrete Mixes with Dispersed Binder. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2020;(4-5): 62–67. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-62-67>.
7. Andronov S.Yu., Alferov V.I., Kochetkov A.V., Vasiliev Yu.E. Uniform fiber distribution in cold asphalt mixtures with viscous microdispersed bitumen. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020;7(1): 17SATS120. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/17SATS120>.
8. Golikov I.V., Ignatyev A.A., Gotovtsev V.M., Kalashyan A.R. Peculiarities of Road Bitumen Modification by Polyetheneleptalate. *Dorogi i mosty*. 2019;(2): 192–202. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45638089> (accessed 15th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Ignat'yev A.A., Prenglayev G.V. [Increasing the efficiency of compaction of non-cohesive soils by regulating the interphase interaction of particles]. *Dorogi i mosty*. 2018;(1): 10. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37001850> (accessed 15th December 2023). (In Russ.).
10. Gerasimov D.V., Ignatiev A.A., Gotovtsev V.M., Golikov I.V. Prospects for the Use of Phosphogypsum When Producing Asphalt Concrete. *Dorogi i mosty*. 2018;(2): 304–315. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45648768> (accessed 28th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Fu Z., Dang Y., Guo B., Huang Y. Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2016;3(5): 412–426. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.002>.
12. Cheng Y., Yu D., Tan G., Zhu C. Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber–Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles. *Material*. 2018;11(11): 2148. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11112148>.
13. Celauro C., Praticò F.G. Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses. *Construction and Building Materials*. 2018;170: 245–253. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058>.
14. Gong Y., Bi H., Liang C., Wang S. Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology. *Applied Sciences*. 2018;8(11): 2191. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/app8112191>.
15. Qin X., Shen A., Guo Y., Li Z., Lv Z. Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers. *Construction and Building Materials*. 2017;159: 508–516. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012>.
16. Gong Y., Bi H., Tian Z., Tan G. Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles. *Applied Sciences*. 2018;8(12): 2581. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/app8122581>.
17. Razgovorov P.B., Ignatiev A.A., Gotovtsev V.M., Vlasova E.A. Using Granulate Composites with Calcined Phosphogypsum and Pet Additive in Asphaltting. *Materials Science Forum*. 2022;1049: 257–265. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1049.257>.
18. Ignatyev A.A., Razgovorov P.B., Nagornov R.S. et al. Composite Aluminosilicate Materials for Sorption Extraction of Impurity Substances of Vegetable Oils. *Resources*. 2022;11(2): 9. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020009>.

Information about the authors:

Andrey V. Kochetkov — Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia,
e-mail: soni.81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6523-6095>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080

Yuri E. Vasiliev — Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia,
e-mail: vashome@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1634-0152>
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/I-8197-2013>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205604432>

Georgy Sh. Malazonia — Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russia,
e-mail: geo.rnd1749@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2964-669X>

Submitted: 4th February 2024. Revised: 4th April 2024. Published online: 18th April 2024.