

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2018, №1, Том 5 / 2018, No 1, Vol 5 <https://t-s.today/issue-1-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/20SATS118.pdf>

DOI: 10.15862/20SATS118 (<http://dx.doi.org/10.15862/20SATS118>)

Статья поступила в редакцию 19.02.2018; опубликована 11.04.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/20SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/20SATS118

For citation:

Tyuryukhanov K.Yu., Pugin K.G. (2018). Research of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/20SATS118.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/20SATS118

УДК 625.85

ГРНТИ 67.15.63

Тюрюханов Кирилл Юрьевич

ФГОУВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Ведущий инженер кафедры «Автомобильные дороги и мосты»

E-mail: Turuchanov.k.u@list.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=969266

Пугин Константин Георгиевич

ФГОУВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор кафедры «Автомобили и технологические машины»

Доктор технических наук, доцент

E-mail: 123zzz@rambler.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=622336

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55823720700>

Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне

Аннотация. В статье представлена часть диссертационного исследования Тюрюханова К.Ю., результаты взаимодействия битума с мелким минеральным заполнителем, входящим в состав асфальтобетонной смеси. В настоящее время в Российской Федерации встает вопрос о создании эффективных материалов в связи с постоянно растущей интенсивностью и грузонапряженностью автомобильных дорог. Требования, предъявляемые к качеству автомобильных покрытий, повышаются. При ремонте, новом строительстве, реконструкции автомобильных дорог, используются большие объемы природных минеральных материалов таких как, щебень, пески из отсева дробления, природных песков, минерального порошка, их запасы постоянно истощаются. Поэтому актуальной проблемой является внедрение отходов металлургической промышленности, которая требует более глубокого и всестороннего исследования взаимодействия с битумом. Адгезия вяжущего к минеральным материалам обусловлено рядом причин: геометрической формой частиц, пористостью, дисперсностью. Однако, в основном, прочность, создаваемая на поверхности частиц, зависит от создаваемых связей, определяемых природой минерального материала и активностью битума. Как показывает практика, использование отходов промышленности входящих в состав

асфальтобетона возможно, не ухудшая физико-механические показатели. В статье рассматривается использование отхода Благовещенского арматурного завода, отработанная формовочная смесь, получаемая в результате неоднократного дробления литейных форм, в состав которых входит кварцевый песок совместно со связующим Альфабонд. Кварцевый песок является кислой породой, что негативно сказывается на образовании прочных хемосорбционных связей. При взаимодействии кварцевого песка с отвердителем и связующим на поверхности зерен образуется устойчивое пленочное покрытие, которое уменьшает поверхностную кислотность кварцевого песка и способствует хемосорбционному взаимодействию битума с зернами песка, создавая необходимое структурообразующее влияние. В статье наглядно представлены хемосорбционные связи битума с минеральными материалами после кипячения.

Ключевые слова: асфальтобетон; адгезия; отработанная формовочная смесь; хемосорбционная связь; битумоёмкость; минеральный материал; отходы промышленности

В связи с ежегодно растущей интенсивностью и грузонапряженностью автомобильных дорог в Российской Федерации, встает вопрос о разработке технологии получения эффективных материалов используемых при создании дорожных одежд. При этом растет объем потребления природных минеральных материалов и возникает необходимость использования альтернативных материалов не уступающим по физико-механическим показателям традиционным. К таким материалам можно отнести отходы черной металлургии, в частности сталелитейные шлаки и формовочные смеси литейного производства. Вовлечение отходов производства в технологический цикл получения строительных материалов и изделий на их основе расширяет общую номенклатуру используемого для этих целей сырья. Это в свою очередь формирует пробелы знаний о взаимодействии вяжущих материалов и новых минеральных составляющих, полученных на основе отходов. В частности, мало изучено поведение битума и отработанной формовочной смеси, образующейся при получении стальных отливок при формировании структуры асфальтобетона. В изложенном материале представлена часть диссертационного исследования Тюрюханова К.Ю.

На получение прочного и долговечного покрытия из асфальтобетона не маловажную роль играет форма и химический состав частиц минеральных материалов. В настоящее время для производства асфальтобетона в качестве мелкого минерального заполнителя используют природные пески, пески из отсева дробления различных горных пород и отходов производства. Разная природа песков определяет и различное взаимодействие их с битумом. В частности, природные кварцевые пески относятся к кислым породам, (SiO_2 до 98 %), имеют окатанные гладкие поверхности частиц, создавая менее прочные связи с вяжущим материалом. В пограничных битумных слоях такие зерна не оказывают положительного структурообразующего влияния в асфальтобетоне.

Как отмечается в работе Гезенцева Л.Б. [1], лучшее сцепление битума с минеральными частицами достигается с помощью использования основных и карбонатных горных пород (известняки, доломиты). Кислые горные породы (породы с содержанием SiO_2 более 65 %) при взаимодействии с вяжущим (битумом) не образуют прочных хемосорбционных связей. Однако ряд работ показывает, что при использовании кислых пород в составе асфальтобетона, возможно, достигать нормативных показателей установленных ГОСТ9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов» за счет щелочной активации, которая была изучена Ивановым К.С. и Коротковым Е.А. [2]. Так же в работе Емельянычева Е.А., Абдуллина А.И. [3], рассмотрены варианты активации минеральных материалов при взаимодействии с битумом. Одним из них является изменение поверхности минеральных частиц,

взаимодействующих с битумом по средствам физико-химической активации или модификацией. Основную гипотезу активационно-технологической механики выдвинул Ковалев А.Н. [4] в основе которой лежит идея оптимизации условий для достижения наиболее активного взаимодействия минеральных частиц и вяжущего в момент технологического контакта между собой.

Адгезия вяжущего к минеральным материалам асфальтобетона обусловлена: геометрической формой частиц, пористостью, химическим составом, дисперсностью и т. д. Прочность асфальтобетона в целом (как конструктивного слоя дорожной одежды), определяется создаваемыми связями, которые определяются природой минерального материала и активностью битума. Ребиндер П.А. [5] установил, что наиболее прочное сцепление высокомолекулярного вещества и минерального материала происходит при химическом взаимодействии между ними, появлением на поверхности минеральных частиц нерастворимых хемосорбционных соединений.

Так же исследованием взаимодействия минерального материала с битумом проводились в ряде Европейских стран и США [6-10]. В работе Partl M.N. [11], рассматривается вопрос о длительном воздействии высоких температур, оказываемых на битум при нагреве для изготовления асфальтобетонной смеси, что приводит к ослаблению хемосорбционных связей с минеральным материалом. Так же битум становится хрупким, в связи, с чем возникает преждевременное разрушение асфальтобетонного покрытия, образование трещин.

Наглядно проследить образование хемосорбционных связей между битумом и минеральными частицами асфальтобетонной смеси можно согласно методике, представленной в ГОСТ 11508-74 «Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком». Сущность метода заключается в определении способности вязкого битума удерживаться на поверхности мрамора или песка предварительно покрытым им при взаимодействии с водой.

В качестве исследуемых материалов использовались: мрамор и гранит, произведенный в республике Карелия, песок природный ОАО «Порт Пермь», кварцевый песок ЗАО «Балашейские пески», отработанная формовочная смесь АО «Благовещенский арматурный завод».

Подготовленные минеральные материалы (природный песок, кварцевый песок, отработанная формовочная смесь, гранит и мрамор) согласно ГОСТ 11508-74 были промыты дистиллированной водой для исключения пылевидных и глинистых частиц, затем высушены при постоянной температуре 105 ± 5 С°. Перед испытанием битум был обезвожен при постоянной температуре 105 С°. Для приготовления битумо-минеральной смеси в двух фарфоровых чашках отвесили по 30 грамм минерального материала и добавили по 1,2 грамма вязкого битума. Чашки с материалом термостатировали в течении 20 минут при температуре 130-140 С°, после чего смесь тщательно перемешали металлической ложкой до покрытия всей поверхности битумной пленкой минерального материала, и выдержали при комнатной температуре 20 минут. Подготовленную битумо-минеральную смесь разместили на металлической сетке размером 0,25 или 0,5 мм, после чего поместили сетку в стакан с дистиллированной водой таким образом, чтобы высота слоя под сеткой и над сеткой составляла 40-50 мм, а кипячение протекало не бурно в течении 30 минут, излишки битума убираются фильтровальной бумагой. После кипячения образцы разместили в стакан с холодной водой, где выдержали 3-5 минут, после чего образцы были размещены на фильтровальной бумаге.

Для оценки сцепления вязкого битума с поверхностью минерального материала битумо-минеральную смесь сравнивают с контрольными образцами до кипячения. Выдержавшим испытание на сцепление считается, когда после кипячения битумо-минеральная

смесь покрыта пленкой битума на 3/4 всей поверхности. Результаты испытания на сцепление представлены на рис. 1-5.



мрамор исходный



*мрамор с битумом до
кипячения*



*мрамор с битумом после
кипячения*

Рисунок 1. Образцы мрамора



гранит



гранит до кипячения



гранит после кипячения

Рисунок 2. Образцы гранита



природный песок



*природный песок до
кипячения*



*природный песок после
кипячения*

Рисунок 3. Образцы природного песка



кварцевый песок



*кварцевый песок до
кипячения*



*кварцевый песок после
кипячения*

Рисунок 4. Образцы кварцевого песка



На основании проведенных испытаний минеральных материалов для определения сцепных свойств с вяжущим, можно утверждать, при большом содержании SiO_2 адгезионные свойства битума проявляются в незначительной степени, это наглядно проявляется на природном и кварцевом песке, а также на граните. Хорошие сцепные свойства прослеживаются на отработанной формовочной смеси и мраморном минеральном материале. Несмотря на то что отработанная формовочная смесь состоит из кварцевого песка, который является «кислой» породой результаты испытаний говорят о хорошей адгезии битума с поверхностью песка. В работах Гридчина А.М. и Ядыкиной В.В. приводятся исследования показывающие, что содержание диоксида кремния (SiO_2) на поверхности минеральных материалов оказывает большое влияние, но не решающее при взаимодействии с битумом [12]. Данное утверждение основано на ряде экспериментов, где хемосорбционные процессы обусловлены наличием на поверхности активных центров адсорбции.

Наличие на поверхности минеральных материалов шероховатостей, неровностей и трещин так же способствует улучшению хемосорбционных связей. Более наглядное представление дано Ивкиным А.С., Васильевым В.В., Кондрашовой Н.К., Сухановым К.Г. [13], где распределение битума на поверхности минеральных материалов понижается от степени шероховатости в последовательности мрамор → габбро → гранит, от полного обволакивания частиц до сосредоточивания битума в виде отдельно образовавшихся капель на поверхности минерального материала.

Присутствие шероховатостей влияет на битумоемкость минеральных материалов в составе асфальтобетонной смеси. Так же исследования гранулометрического состава отработанной формовочной смеси, и его пригодность как мелкого заполнителя в составе асфальтобетона представлены в статье Пугина К.Г., Агапитова Д.А., Тюрюханова К.Ю [14]. Проведённый эксперимент по методике, представленной в ГОСТ32766-2014 «Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный», может дать определение показателя битумоемкости для мелких заполнителей. Сущность данного метода заключается в определении количества масла при смешении, которого с мелким минеральным заполнителем в объеме 100 см^3 получается заданная консистенция. Для сравнительного эксперимента был выбран мелкий минеральный заполнитель кварцевый песок и отработанная формовочная смесь. Перед испытанием необходимо подготовить пробу промыв материал, исключив пылевидные и глинистые частицы с дальнейшим просушиванием при температуре 105 C° . Из подготовленной пробы отвешивается порция песка в количестве 250 грамм, затем в фарфоровую чашку отвешиваем 15 грамм индустриального масла температурой $23 \pm 3 \text{ C}^\circ$. Далее постепенно добавляем в чашку песок, тщательно перемешивая до пастообразной консистенции, исключив прилипания к стенкам и ко дну чашки, после чего образовавшуюся смесь помещаем в металлическую чашку, диаметром 50 мм и высотой 20 мм одновременно выглаживая смесь вровень с краями. Чашку со смесь помещаем на подставку прибора «Вика», подводя пестик к поверхности смеси и отмечая положение указателя на шкале. Затем поднимая пестик на 20 мм, даем свободно

опускаться пестиком с пригрузом в смесь в течение 5 секунд, после чего отмечаем положение пестика на шкале оно должно составлять $8 \pm 0,5$ мм. Если полученное значение больше $8 \pm 0,5$ мм тогда необходимо смесь поместить в фарфоровую чашку и маленькими порциями добавлять песок, перемешивая полученную смесь, далее проводя необходимые операции до получения необходимого значения, отмеченного на шкале при погружении пестика. Если при погружении пестика значение меньше $8 \pm 0,5$ мм, тогда необходимо сделать новую смесь с меньшим первоначальным количеством песка и снова повторять испытание. Результаты испытания определения показателя битумоемкости с использованием кварцевого песка и отработанной формовочной смеси представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели битумоемкости мелкого заполнителя

| Материал | Показатель битумоемкости, % |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Песок кварцевый | 38,1 |
| Отработанная формовочная смесь | 50,0 |



Рисунок 6. Определение битумоемкости по методике ГОСТ 32766-2014 отработанной формовочной смеси

После проведенных экспериментальных исследований можно утверждать, что применение кислых горных пород в составе асфальтобетонной смеси в качестве мелкого заполнителя, возможно, после их физико-химической активации. Повышение хемосорбционных связей битума с минеральным материалом способствует устойчивости асфальтобетона сопротивляться разрушающим нагрузкам, возникающим в процессе эксплуатации, исключая преждевременное колееобразование, трещины.

При проведении исследования взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне можно сделать следующие выводы:

- величина адгезионного взаимодействия минеральных материалов с битумом уменьшается в зависимости от содержания диоксида кремния, а именно мрамор, отработанная формовочная смесь → гранит → кварцевый песок, природный песок;
- применение кислых горных пород (кварцевого песка) в составе асфальтобетонных смесей возможно после взаимодействия со связующим и затвердителем с дальнейшей активацией по способу неоднократного дробления литейных форм.

Выражаем благодарность, за помощь, оказанную при выполнении экспериментальных исследований на лабораторном оборудовании научно-производственной испытательной

лаборатории «Дорожные исследования» в составе Автодорожного факультета «Пермского национального исследовательского политехнического университета», в частности заведующей кафедрой АДМ Щепетевой Л.С., начальнику лаборатории, Кузнецову В.Ю., старшему преподавателю Агапитову Д.А. и инженеру Белянину Я.О.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожный асфальтобетон. Под редакцией Л.Б. Гезенцева. М., Транспорт, 1985. 350 с.
2. Иванов К.С., Коротков Е.А. Влияние силикат-натриевых суспензий на свойства материалов щелочной активации. Неорганические материалы. 2017. Т. 53. № 9. С. 993-1000.
3. Емельянычева Е.А., Абдуллин А.И. Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 198-204.
4. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я.Н. Ковалев. Минск, 2002.
5. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. – М.: Наука, 1978. – 368 с.
6. Amir Mehrara, Ali Khodaii, A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 423-442.
7. Salomé dos Santos, Manfred N. Partl, Lily D. Poulikakos, From virgin to recycled bitumen: A microstructural view, Composites Part B: Engineering, Volume 80, October 2015, Pages 177-185.
8. Albert M. Hung, Adrian Goodwin, Elham H. Fini, Effects of water exposure on bitumen surface microstructure, Construction and Building Materials, Volume 135, 15 March 2017, Pages 682-688.
9. Hartmut R. Fischer, E.C. Dillingh, C.G.M. Hermse, On the interfacial interaction between bituminous binders and mineral surfaces as present in asphalt mixtures, Applied Surface Science, Volume 265, 15 January 2013, Pages 495-499.
10. Lily D. Poulikakos, Salomé dos Santos, Moises Bueno, Simon Kuentzel, Martin Hugener, Manfred N. Partl, Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures, Construction and Building Materials, Volume 51, 31 January 2014, Pages 414-423.
11. Salomedos Santos, S., Poulikakos, L.D., Partl, M.N.: Effect of annealing conditions on the molecular properties and wetting of viscoelastic bitumen substrates by liquids., International Journal of Pavement Research and Technology 10(1), 1 January 2017, Pages 2-14.
12. Гридчин А.М., Ядыкина В.В. Особенности взаимодействия битума с минеральными материалами из кислых пород. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2008. № 40. С. 13-16.
13. Ивкин А.С., Васильев В.В., Кондрашева Н.К., Суханова К.Г. Закономерности распределения битума на поверхности минерального материала. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2017. № 38 (64). С. 81-85.
14. Пугин К.Г., Агапитов Д.А., Тюрюханов К.Ю. Исследование гранулометрического состава отработанного формовочного песка. В сборнике: методы проектирования и оптимизации технологических процессов сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017. С. 45-47.

Tyuryukhanov Kirill Yurievich

Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
E-mail: Turuchanov.k.u@iist.ru

Pugin Konstantin Georgievich

Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
E-mail: 123zzz@rambler.ru

Research of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete

Abstract. The article presents a part of the dissertation research by Tyuryukhanova K. Yu., the results of bitumen interaction with a fine mineral aggregate that is part of the asphalt-concrete mixture. At present, the Russian Federation raises the question of creating effective materials in connection with the constantly growing intensity and freight traffic of highways. Requirements for the quality of automobile coatings are increasing. During repair, new construction, reconstruction of motor roads, large volumes of natural mineral materials are used, such as crushed stone, sands from screening crushing, natural sands, mineral powder, their reserves are constantly depleted. Therefore, the urgent problem is the introduction of waste metallurgical industry, which requires a deeper and more comprehensive study of interaction with bitumen. Adhesion of the binder to mineral materials is due to a number of reasons: the geometric shape of the particles, the porosity, the dispersion. However, in general, the strength created on the surface of the particles depends on the bonds created, determined by the nature of the mineral material and the bitumen activity. As practice shows, the use of industrial wastes in the composition of asphalt concrete is possible without worsening the physicomechanical performance. The article deals with the use of the waste of the Annunciation Reinforcement Plant, a spent molding mixture obtained as a result of repeated crushing of casting molds, which include quartz sand together with Alfabond binding agent. Quartz sand is an acidic rock, which negatively affects the formation of strong chemisorption bonds. When quartz sand interacts with the hardener and the binder on the surface of grains, a stable film coating forms, which reduces the surface acidity of quartz sand and promotes the chemisorption interaction of bitumen with grains of sand, creating the necessary structure-forming effect. Chemisorption bonds of bitumen with mineral materials after boiling are visually represented in the article.

Keywords: asphalticconcrete; adhesion; spent molding mixture; chemisorption bond; bituminous capacity; mineral material; waste of industry

REFERENCES

1. (1985). Dorozhnyj asfaltobeton. [Road asphalt concrete. Ed. by L.B. Gezencveya.] Moscow: Transport, p. 350.
2. Ivanov K.S., Korotkov E.A. (2017). Effect of silicate-sodium suspensions on the properties of alkaline activation materials. *Inorganic materials*, 9(53), pp. 993-1000. (in Russian).
3. Emelyanycheva E.A., Abdullin A.I. (2013). Methods for improving the adhesion properties of road bitumen to mineral materials. *Bulletin of Kazan Technological University*, 3(16), pp. 198-204. (in Russian).
4. Kovalev Ya.N. (2002). Aktivacionnye tehnologii dorozhnyh kompozicionnyh materialov. [Activation technologies of road composite materials.] Minsk.
5. Rebinder P.A. (1978). Izbrannye trudy. Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Kolloidnaya himiya. [Selected works. Surface phenomena in disperse systems. Colloid chemistry.] Moscow: The science, p. 368.
6. Amir Mehrara, Ali Khodaii. (2013). A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 38, pp. 423-442.
7. Salomé dos Santos, Manfred N. Partl, Lily D. Poulikakos. (2015). From virgin to recycled bitumen: A microstructural view. *Composites Part B: Engineering*, 80, pp. 177-185.
8. Albert M. Hung, Adrian Goodwin, Elham H. Fini. (2017). Effects of water exposure on bitumen surface microstructure. *Construction and Building Materials*, 135, pp. 682-688.
9. Hartmut R. Fischer, Dillingh E.C., Hermse C.G.M. (2013). On the interfacial interaction between bituminous binders and mineral surfaces as present in asphalt mixtures. *Applied Surface Science*, 265, pp. 495-499.
10. Lily D. Poulikakos, Salomé dos Santos, Moises Bueno, Simon Kuentzel, Martin Hugener, Manfred N. Partl. (2014). Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 51, pp. 414-423.
11. Salomedos Santos, S., Poulikakos, L.D., Partl, M.N. (2017). Effect of annealing conditions on the molecular properties and wetting of viscoelastic bitumen substrates by liquids. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(1), pp. 2-14.
12. Gridchin A.M., Yadykina V.V. (2008). Features of interaction of bitumen with mineral materials from acid rocks. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 40, pp. 13-16. (in Russian).
13. Ivkin A.S., Vasilev V.V., Kondrasheva N.K., Suhanova K.G. (2017). Regularities of bitumen distribution on the surface of mineral material. *News of the St. Petersburg State Technological Institute*, 38(64), pp. 81-85. (in Russian).
14. Pugin K.G., Agapitov D.A., Tyuryuhanov K.Yu. (2017). Investigation of the granulometric composition of spent sand. *In the collection: methods of design and optimization of technological processes, a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*, pp. 45-47. (in Russian).