

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-269-273>

УДК 691.168

Концептуальные основы технологии песчаного дисперсно-армированного асфальтобетона

Докт. техн. наук, проф. Я. Н. Ковалев¹⁾, инж. Д. Ю. Александров²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2019
Belarusian National Technical University, 2019

Реферат. Проблема эффективного использования ресурсов в дорожной отрасли остается одной из самых сложных, поэтому требуется интенсификация процесса исследования возможностей производства дорожно-строительных материалов пониженной ресурсоемкости с повышенными физико-механическими свойствами. Техногенные отходы предприятий Беларуси достаточно разнообразны, и необходимо их изучение. Использование методов ИК-спектроскопии, зондовой микроскопии, изучение геометрических характеристик частиц и волокон позволяют определить наиболее активные центры и выявить микродефекты, влияющие на прочность адгезионной связи на границе «волокно – вяжущее» и физико-механические свойства готового асфальтобетона. Природа базальтового волокна предполагает в основном физический характер адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз. Повышение активности техногенного отхода с целью усиления адгезионных контактов вплоть до хемосорбционного уровня возможно только при предварительной обработке волокна, которая будет включать очистку, удаление инородных включений, травление волокна, сушку, возможную сортировку и вспушивание. Промышленная апробация такого технологического процесса невозможна без разработки соответствующего модуля или установки. Дисперсное армирование вызывает изменения в составах и технологии песчаного асфальтобетона. Увеличение удельной поверхности заполнителя, необходимость равномерного распределения волокна по объему определяют потребность в вяжущем, порядок и режимы перемешивания компонентов. Зерновой состав заполнителя может быть представлен как отсевом дробления, так и природным песком или смесью этих материалов. Требования к свойствам песчаного дисперсно-армированного асфальтобетона формируются в зависимости от условий эксплуатации и расположения слоя этого материала в конструкции дорожной одежды. Дисперсно-армированный песчаный асфальтобетон может выполнять функции сверхтонкого защитного слоя, выравнивающего слоя или трещинопрерывающей прослойки, слоя, устойчивого к усталостному трещинообразованию.

Ключевые слова: песчаный асфальтобетон, дисперсное волокно, техногенные отходы, активация волокна, промышленный модуль

Для цитирования: Ковалев, Я. Н. Концептуальные основы технологии песчаного дисперсно-армированного асфальтобетона / Я. Н. Ковалев, Д. Ю. Александров // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 4. С. 269–273. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-269-273>

Conceptual Fundamentals for Technology of Sand Disperse-Reinforced Asphalt Concrete

Ya. N. Kovalev¹⁾, D. Yu. Alexandrov²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus)

Abstract. A problem of efficient resource usage in road branch continues to be one of the most complicated issues and requires an intensification in investigation process pertaining to possibilities for production of road construction materials

Адрес для переписки

Ковалев Ярослав Никитич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220113, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 237-38-81
ftk75@bntu.by

Address for correspondence

Kovalev Yaroslav N.
Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosty Ave.,
220113, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 237-38-81
ftk75@bntu.by

of low resource intensity with high physical and mechanical properties. Technogenic wastes of the Belarusian enterprises are rather various and they need a detailed investigation. Application of such methods as IR spectrometry, probe microscopy, study of of geometric characteristics of particles and fibers make it possible to determine more active centres and reveal micro-defects that influence on strength of adhesion bond at the boundary of “fiber – binder” and physical and mechanical properties of ready-mixed asphalt concrete. Nature of basalt fiber presupposes mainly physical character of adhesion interaction at the boundary of phase separation. An increase of technogenic waste activity to enhance adhesion contacts up to chemisorption level is possible only due to preliminary fiber processing which includes cleaning, removal of foreign inclusions, etching, drying, probable sorting-out and fluffing. Industrial approbation of such technological process is not possible without development of a corresponding module or a plant. Disperse reinforment causes changes in composition and technology of sand asphalt concrete. An increase in specific surface of an aggregate, necessity of uniform distribution of fiber in terms of volume determine the required need in a binder, procedure and regimes for component mixing. Grain composition of the aggregate can be represented by crush screening and natural sand of mixture of these materials. Requirements to properties of sand disperse-reinforced asphalt concrete are formed on the basis of operational conditions and layer arrangement of the material in the design of a surface dressing. The disperse-reinforced sand asphalt concrete can perform functions of a superfine protective layer, a levelling layer or a crack stopping layer which is resistant to fatigue crack formation.

Keywords: sand asphalt concrete, disperse fiber, technogenic wastes, fiber activation, industrial modul

For citation: Kovalev Ya. N., Alexandrov D. Yu. (2019) Conceptual Fundamentals for Technology of Sand Disperse-Reinforced Asphalt Concrete. *Science and Technique*. 18 (4), 269–273. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-18-4-269-273> (in Russian)

Введение

Техногенные отходы различного происхождения и вида неоднократно применялись в дорожной отрасли [1]: молотые отработанные формовочные смеси являются эффективным заменителем минерального порошка; трибоактивация кварцевого природного песка практически в два раза повышает сдвигустойчивость песчаного асфальтобетона; модификация битумов полиэтиленовыми отходами увеличивает прочностные качества асфальтобетонов и т. д. Однако все исследователи, изучающие возможности практической реализации технологий модифицирования асфальтобетонов отходами промышленности, сталкиваются с проблемами подготовки этих материалов и регионального характера их применения в таких асфальтобетонах. Региональный характер выражается в отличиях одинаковых типов отходов в зависимости от особенностей производств и исходных компонентов изготавливаемого основного продукта, а также эффективности, определяющейся дальностью транспортировки отхода. С другой стороны, в Беларуси образовалось достаточное количество невостребованного отсева дробления (РУПП «Гранит»), а наиболее распространенным местным материалом является природный кварцевый песок. Это позволяет рассмотреть вопрос о возможности широкого использования в дорожной отрасли песчаного асфальтобетона, модифицированного отходами производств. В статье в качестве техногенного отхода для песчаного асфальтобетона рассматри-

ваются отходы производства минераловатных плит ОАО «Гомельстройматериалы», которые ежегодно образуются в объеме более 10 тыс. т.

Условия работы дорожного асфальтобетона

Условия работы асфальтобетона в покрытии позволяют сформировать требования к его свойствам и на этапе проектирования состава смеси эффективно ими управлять. Максимальные значения сжимающих напряжений наблюдаются в поверхностном слое дорожных асфальтобетонных покрытий, максимальные сдвигающие – на глубине до 3–4 см, а максимальные растягивающие – по подошве слоя покрытия. Существующий нормативный документ [2] содержит обобщенные требования к физико-механическим показателям плотных асфальтобетонов и не учитывает возможные варианты их применения. Не одно десятилетие концептуальную модель применения песчаного асфальтобетона можно было выразить следующей фразой: «песчаный асфальтобетон – верхний несущий слой дорожной одежды». Результаты исследований подтвердили несостоятельность такой концептуальной модели, а теоретические представления не соотносились с реальными результатами. Практически реализуемая технология производства и укладки асфальтобетонных смесей не позволяет значительно уменьшить количество битума в песчаной смеси, что необходимо для повышения прочностных качеств песчаного асфальтобетона.

Теоретически любому материалу можно найти область применения, в которой в полной мере реализуются его достоинства. Песчаный асфальтобетон обладает высокой плотностью, однородностью, хорошими сцепными качествами (при использовании отсева дробления), коррозионной стойкостью к воздействию солей [3], а также повышенной усталостной долговечностью по сравнению с другими плотными асфальтобетонами [4]. Для эффективного использования песчаных асфальтобетонов необходимо существенно изменить условия их работы: максимально удалить слой асфальтобетона от воздействия подвижной нагрузки или снизить величину сдвигающих напряжений в слое. Первый вариант реализуется, если использовать песчаный асфальтобетон в качестве трещинопрерывающей, демпфирующей прослойки, или нижнего слоя конструкции дорожной одежды с оптимальным распределением напряжений. Второй вариант может быть реализован при максимальном уменьшении толщины и использовании асфальтобетона в качестве сверхтонкого защитного слоя, который будет иметь преимущества перед конкурирующими технологиями [5]. Однако в любом случае технология и состав песчаных асфальтобетонов требуют существенных изменений: необходимы дисперсное армирование [6], вибрационное перемешивание, газовая технология и т. д.

Свойства базальтовых волокон

Предлагаемый исследуемый отход можно разделить на две группы. Первая – это не вытянувшиеся капли расплава (корольки), образующиеся в процессе волокнообразования на барабане камеры волокноосаждения (рис. 1). Вторая – волокна от боковой обрезки, получаемые на этапе резки ковра. Отход обоих видов

хранится под открытым небом. Ежегодно образуется около 12–13 тыс. т отходов минеральных волокон.

Свойства отхода исследованы с использованием оборудования Белорусского республиканского центра зондовой микроскопии (Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси). Отход исследовался методами спектроскопии и оптической микроскопии. При расшифровке ИК-спектров волокна и корольков, ввиду многокомпонентного состава, технологии производства и других факторов, были использованы сравнительные данные, полученные для сходных образцов [7, 8]. Для спектрального анализа дисперсного базальтового волокна применялся спектрометр с преобразованием Фурье (NICOLET 5700 FT-IR). Наиболее интенсивные полосы поглощения относятся к областям волн $600\text{--}1100\text{ см}^{-1}$, меньшие – к $1200\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ (рис. 2). Полосы поглощения в первом диапазоне волновых чисел соответствуют колебаниям атомов кремния и кислорода, во втором диапазоне – валентным колебаниям Me–O–H-связей. ИК-спектр корольков имеет сходные очертания.

Поверхность волокна, изученная при помощи оптического микроскопа, ровная и гладкая (рис. 3). Дефектных мест на поверхности волокна не обнаружено. Средний диаметр волокна в пределах 5–10 мкм. Среднюю длину волокна определить невозможно (волокна имеют различную длину) и, как следствие, соотношение их диаметра к длине тоже. Исследование поверхности волокна и корольков проводилось с использованием оптического микроскопа Olympus VX41, оборудованного цифровой видеокamerой. Методы оптической микроскопии не требуют специальной подготовки волокна.

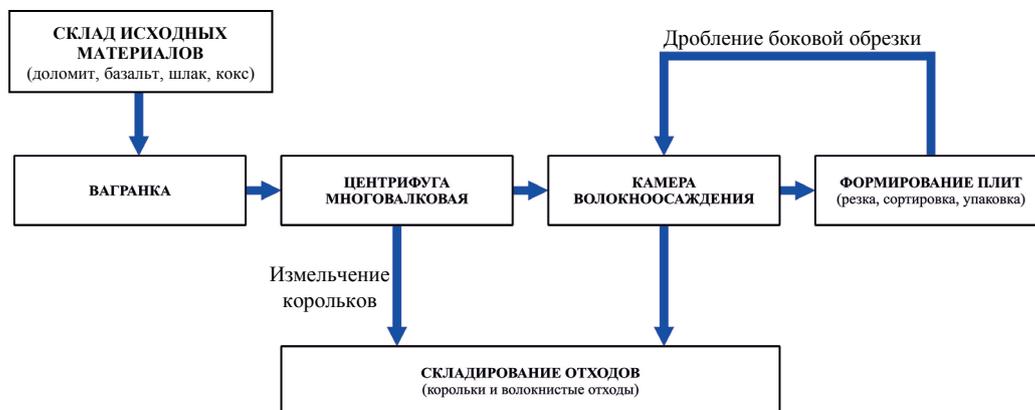


Рис. 1. Упрощенная схема образования отхода производства минераловатных плит

Fig. 1. Simplified diagram of waste formation during manufacturing of mineral wool plates

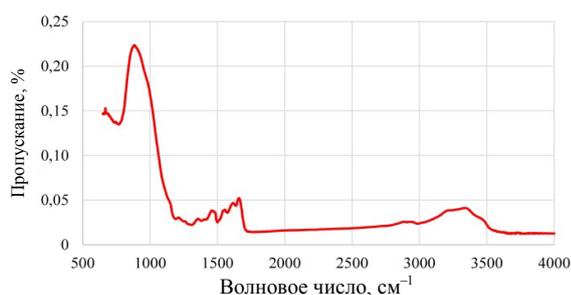


Рис. 2. ИК-спектр базальтового волокна

Fig. 2. IR-spectrum of basalt fibre



Рис. 3. Микрофотография базальтового волокна

Fig. 3. Microphotography of basalt fibre

Многokrатное увеличение обеспечивается наличием нескольких объективов. Проводить более детальные исследования методами микроскопии нецелесообразно, так как уже на этом этапе подтвердились предположения о морфологии поверхности волокна.

Подготовка волокна и технология асфальтобетона

Для песчаного асфальтобетона идеальной является структура с максимальным сближением зерен минерального материала при оптимальной толщине битумной пленки. Дисперсные волокна в таком материале должны быть равномерно распределены по объему асфальто вяжущего. Волокна должны быть разделены, недопустимо образование пучков и кластеров, не обработанных вяжущим. В этом случае при воздействии силы в любом направлении микроарматура будет способствовать повышению физико-механических свойств песчаного асфальтобетона.

Технология получения песчаного асфальтобетона достаточно проста и экономически эффективна, но приводит к повышенному расходу битума за счет увеличения его неструктурированной составляющей. Нагрев вяжущего до рабочей температуры (140–170) °С хоть и снижает величину поверхностного натяжения битума, но не позволяет уменьшить вязкость для быстрой и равномерной обработки всей удельной поверхности минерального заполнителя. Совершенствование предлагаемой технологии песчаного асфальтобетона в оптимальном виде включа-

ет следующие этапы: подготовку волокна, приготовление смеси минерального порошка и модифицированных волокон, приготовление комплексного асфальто вяжущего, смешение асфальто вяжущего и минерального заполнителя (песка или отсева камнедробления).

Этап подготовки волокна предназначен для очистки его от загрязняющих включений (так как он хранится под открытым небом), разделения отхода на волокна и корольки (при необходимости), травления волокна и его сушки. Промышленная установка должна иметь рабочую камеру, в которой в различных жидких средах при помощи сменного оборудования производится подготовка волокна (рис. 4). Травление базальтового волокна различных композиционных материалов – достаточно распространенный процесс [7–9], цель которого – создание на поверхности волокна активных центров, интенсивно взаимодействующих с вяжущим, или защитной пленки, препятствующей разрушению волокна в процессе приготовления и эксплуатации композита. Для дисперсного армирования песчаного асфальтобетона исследования подобного рода не проводились. Можно предположить, что травление в известковом растворе [7] в некоторой степени улучшит смачивание волокна вяжущим. Вторым важным технологическим решением является приготовление смеси минерального порошка и вспушенного дисперсного волокна [10] в этой же установке.

Приготовленная смесь волокна и минерального порошка на следующем этапе смешивается с вяжущим. Подобная двухступенчатая технология приготовления асфальтобетона, согласно результатам исследования [11], позволяет снизить потребность в битуме на 10 % (для традиционных песчаных асфальтобетон). Для дисперсно-армированных асфальтобетон двухступенчатая технология приготовления еще не применялась. Увеличение площади удельной поверхности смеси минерального порошка и волокна вызывает необходимость в дополнительном воздействии на компоненты асфальто вяжущего в камере смесителя. Для дисперсных систем возможен подход [12] с использованием вибрационных воздействий на его компоненты: в вибрационный смеситель поступает смесь порошка и волокна, где при воздействии колебаний она переходит в псевдокипящее состояние, а последующая подача битума в этот смеситель (при непрерывающихся колебаниях) приводит к снижению его вязкости и лучшему обволакиванию при меньших расходах битума. Впоследствии асфальто вяжущее перемешивается с песком в смесителе асфальтобетонного завода.

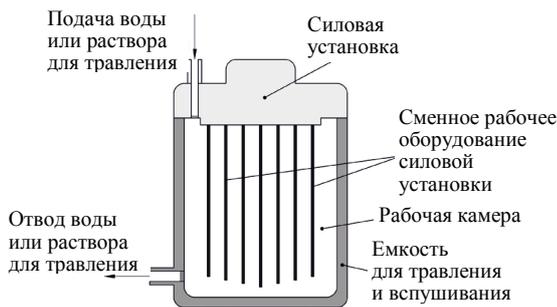


Рис. 4. Принципиальная схема установки для подготовки волокна

Fig. 4. Principal diagram of plant for fibre preparation

ВЫВОДЫ

1. Существующая технология песчаного асфальтобетона не позволяет в полной мере реализовать предложенные теоретические положения для организации однородной структуры дисперсной системы. При изменении условий работы песчаного асфальтобетона в покрытии отпадает необходимость в повышении всех его физико-механических характеристик.

2. Введение дисперсного волокна в состав песчаного асфальтобетона сопряжено с необходимостью очистки его от примесей и загрязнений, разделения на группы специальной обработкой активатором для улучшения смачивания. Такая последовательность может быть реализована в производственных условиях только после разработки универсального (для данной группы отходов) промышленного модуля.

3. Раздельное приготовление асфальто вяжущего и последующее его смешение с песком снижают потребность в битуме без ухудшения свойств асфальтобетона. Во избежание образования кластеров необработанное вяжущим дисперсное волокно необходимо предварительно смешивать с минеральным порошком при воздействии вибрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов: науч.-практ. основы / Я. Н. Ковалев. Минск: Бел. энцикл., 2002. 334 с.
2. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033–2016. Минск: Госстандарт, 2016. 27 с.
3. Прочность и долговечность асфальтобетона / Б. И. Ладыгин [и др.]. Минск: Наука и техника, 1972. 285 с.
4. Илиополов, С. К. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств / С. К. Илиополов, Е. В. Углова. М.: Информавтодор, 2007. 84 с.
5. Александров, Д. Ю. Совершенствование состава и технологии приготовления песчаных асфальтобетонов / Д. Ю. Александров // Техника и технологии строительства. 2015. № 2. С. 6–10.
6. Акулич, А. В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов / А. В. Акулич. Минск: Белорус. политех. ин-т, 1987. 17 с.

7. Рыбин, В. А. Физико-химическое исследование базальтового волокна с защитными щелочестойкими покрытиями / В. А. Рыбин. Новосибирск, 2016. 143 с.
8. Кузьмин, К. Л. Влияние химического состава и поверхностной модификации на механические свойства алюмосиликатных волокон / К. Л. Кузьмин. М.: МГУ, 2017. 25 с.
9. CVD-Grown CNTs on Basalt Fiber Surfaces for Multifunctional Composite Interphases / T. Förster [et al.] // *Fibers*. 2016. Vol. 4, No 28. <https://doi.org/10.3390/fib4040028>.
10. Полякова, С. В. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон / С. В. Полякова // *Дороги и мосты*. 2012. Вып. 28. С. 247–260.
11. Ларина, Т. А. Двухступенчатая технология песчаного асфальтобетона / Т. А. Ларина. М.: Гос. всесоюз. дорНИИ, 1989. 21 с.
12. Урьев, Н. Б. Физико-химические основы интенсификации технологических процессов в дисперсных системах / Н. Б. Урьев. М.: Знание, 1980. 64 с.

Поступила 20.12.2018

Подписана в печать 26.02.2019

Опубликована онлайн 31.07.2019

REFERENCES

1. Kovalev Ya. N. (2002) *Activation Technology of Road Composite Materials: Scientific-Practical Fundamentals*. Minsk, Publishing House "Belorusskaya Entsiklopedia". 334 (in Russian).
2. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1033–2016. *Bitumen-Concrete Road, Airdrome Mixes and Bitumen Concrete. Technical Specifications*. Minsk, Gosstandart Publ. 27 (in Russian).
3. Ladygin B. I., Yatsevich I. K., Vdovichenko S. L., Derkachenko I. L., Zolotarev V. A., Kovalev Ya. N., Korolev I. V., Kudelko M. Ya., Kupriyanchik A. A., Semashko N. S., Strizhevskii V. A., Shumchik K. F. (1972) *Strength and Longevity of Bitumen Concrete*. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ. 285 (in Russian).
4. Iliopolov S. K., Uglava E. V. (2007) *Longevity of Asphalt-Concrete under Conditions of Dynamic Impact Growth of Transport Facilities*. Moscow, Informavtodor Publ. 84 (in Russian).
5. Alexandrov D. Yu. (2015) Improvement of Composition and Technology for Preparation of Sand Asphalt Concrete. *Tekhnika i Tekhnologii Stroitelstva* [Equipment and Technology of Construction], (2), 6–10 (in Russian).
6. Akulich A. V. (1987) *Structure and Properties of Fiber Reinforced Asphalt Concrete*. Minsk, Belarusian Polytechnic Institute. 17 (in Russian).
7. Rybin V. A. (2016) *Physical and Chemical Study of Basalt Fiber with Protective Alkali-Resistant Coatings*. Novosibirsk. 143 (in Russian).
8. Kuzmin K. L. (2017) Influence of Chemical Composition and Surface Modification on Mechanical Properties of Alumina-Silicate Fibers. Moscow, Moscow State University. 25 (in Russian).
9. Förster T., Bin Hao, Mäder E., Simon F., Wölfel E., Peng-Cheng Ma (2016) CVD-Grown CNTs on Basalt Fiber Surfaces for Multifunctional Composite Interphases. *Fibers*, 4 (28). <https://doi.org/10.3390/fib4040028>.
10. Polyakova S. V. (2012) Fiber Reinforced Asphalt Concrete while Using Synthetic Fibers. *Dorogi i Mosty* [Roads and Bridges], (28), 247–260 (in Russian).
11. Larina T. A. (1989) *Two-Stage Technology of Sand Asphalt Concrete*. Moscow, State All-Union Road Research Institute. 21 (in Russian).
12. Uriev N. B. (1980) *Physical and Chemical Intensification of Technological Processes in Disperse Systems*. Moscow, Znanie Publ. 64 (in Russian).

Received: 20.12.2018

Accepted: 26.02.2019

Published online: 31.07.2019