

DOI: 10.15593/2409-5125/2024.02.02

УДК 625.8

К.Г. Пугин^{1, 2}, О.В. Яконцева³

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова

²Пермский филиал Волжского государственного университета
водного транспорта

³Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД С ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Асфальтобетон представляет собой рационально подобранную органоминеральную смесь минеральных материалов и битума. Необоснованное использование в составе асфальтобетонной смеси одного из компонентов, как правило, приводит к резкому снижению эксплуатационных свойств асфальтобетона. Для снижения стоимости производства асфальтобетонной смеси возможно использовать местные каменные материалы. На части территории Урала горные породы имеют включения хризотил-асбеста, что снижает их ценность в качестве минеральных материалов для производства асфальтобетонных смесей. Это обусловлено образованием большого количества свободных тонкодисперсных волокон хризотил-асбеста при технологических воздействиях на горные породы. В целях регулирования содержания свободных волокон в минеральных компонентах, поступающих для получения асфальтобетона, предложено на стадии смешивания и сушки организовать дополнительную продувку сушильного барабана асфальтобетонного завода. В статье представлены исследования микроструктуры поверхности хризотил-асбеста и его элементный химический состав. Установлено низкое содержание оксида кремния в составе хризотил-асбеста, что позволяет обеспечить хорошую адгезию битума к поверхности, водостойкость, морозостойкость и трещиностойкость асфальтобетонного покрытия. На поверхности волокон хризотил-асбеста установлено наличие оксидов кальция, железа и алюминия, что позволяет характеризовать поверхность волокон, способных создавать прочные связи с битумом, за счет взаимодействия данных оксидов с кислотными компонентами битума. При таком взаимодействии, как правило, на поверхности формируется водостойкий слой, который обеспечит водостойкость асфальтобетона в целом. Представленные в статье исследования показывают перспективность вовлечения горных пород, содержащих хризотил-асбест, для производства асфальтобетонных смесей, используемых для строительства автомобильных дорог. Это подтверждено натурными испытаниями асфальтобетона, произведенного с использованием хризотил-асбеста.

Ключевые слова: асфальтобетон, автомобильные дороги, хризотил-асбест, щебень, дорожно-строительные материалы.

Для обеспечения успешного развития транспортной инфраструктуры РФ необходимо разрабатывать и внедрять новые эффективные дорожно-строительные материалы. Наиболее привлекательными являются дорожно-строительные материалы, получаемые из местного сырья (карьеров), при этом возможно достичь значительного снижения стоимости строительства [1, 2]. На территории Уральского региона некоторые горные породы имеют в своем составе хризотил-асбест, что позволяет их рассматривать в качестве сырья для получения асбеста, но снижает их возможность использования для нужд транспортного строительства. Это обусловлено расщеплением хризотил-асбеста на мелкодисперсные волокна, что изменяет битумоемкость минерального сырья. Хризотил-асбест представляет собой волокнистый силикатный минерал со сложным химическим строением, который отвечает идеализированным формулам $Mg_6[Si_2O_5](OH)_8$ или $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. В зависимости от горных районов хризотил-асбест дополнительно может содержать оксиды железа, алюминия, хрома, никеля, марганца, кальция, натрия и др. В качестве горной породы хризотил-асбест имеет плотную структуру, способную при внешнем воздействии расщепляться на отдельные волокна (фибры). В измельченном состоянии (в виде свободных волокон) он обладает высокой сорбцией и прочностью на разрыв. Образующиеся при измельчении волокна имеют различную длину (от 0,001 до 5–15 мм), толщину менее 0,0001 мм [3–6].

Известно, что выделенные в чистом виде волокна хризотил-асбеста в смеси с битумом могут быть успешно использованы в качестве эффективной минеральной добавки в асфальтобетонной смеси. Однако использование щебня и песка из отсевов дробления, полученных из вышеуказанных горных пород, в производстве асфальтобетонов затруднено. Это обусловлено неравномерностью его присутствия в горных породах и образованием свободных волокон хризотил-асбеста на этапах дробления, разделения на фракции, сушки и смешивания. Волокна, обладая развитой поверхностью, требуют повышенного содержания битума в составе асфальтобетонной смеси, что ведет к увеличению ее стоимости. Для эффективного использования в составе асфальтобетона горных пород, содержащих хризотил-асбест, требуется разработка особой технологии их использования, которая позволяет контролировать содержание свободных волокон хризотил-асбеста перед этапом смешивания минеральных компонентов асфальтобетонной смеси с битумом.

Из конструктивных слоев автомобильной дороги наибольшее воздействие воспринимает верхний слой покрытия, устраиваемый из асфальтобетона. Прочность и долговечность покрытия из асфальтобетона во многом определяются формой и химическим составом частиц минеральных материалов, физико-химическими свойствами битума [7–11]. Ввиду сложности строения и многообразия структурно-реологических свойств, используемых для получения асфальтобетона горных пород, теория структурообразования асфальтобетонов постоянно пополняется новыми исследованиями.

За основу теории структурообразования асфальтобетонов принята теория структурообразования дисперсных композиций, разработанная академиком П.А. Ребиндером. Им предложено, что свойства дисперсных композиций зависят от характера связей контактируемых частиц. При формировании структуры материала его основные физико-механические и эксплуатационные свойства будут определяться коагуляционными, конденсационными и кристаллизационными связями, возникающими между его компонентами. В образовании коагуляционной структуры участвуют силы молекулярного взаимодействия (силы Ван-дер-Ваальса). Их действие в дисперсных композитах проявляется через тонкие слои жидкой фазы. Конденсационные структуры возникают при непосредственном взаимодействии частиц с образованием химических соединений, определяющихся ионными и ковалентными связями. Кристаллизационные (кристаллические) структуры возникают путем образования твердой фазы из расплава или раствора с последующим срастанием и образованием новой структуры. Коагуляционные структуры характеризуются низкой прочностью, разрушаются при механических воздействиях, но могут восстанавливать связи после снятия механического воздействия. Конденсационные и особенно кристаллизационные структуры отличаются повышенной прочностью, но обладают повышенной хрупкостью и неспособны к самовосстановлению [12–17].

Обобщенный анализ теории структурообразования в асфальтобетоне позволяет сделать вывод, что для увеличения сроков эксплуатации асфальтобетонных покрытий в его составе необходимо использовать минеральные компоненты, относящиеся к основным и карбонатным горным породам и имеющие после дробления шероховатую поверхность, способную обеспечить эффективное сцепление с битумом. Наилучшая адгезия битума к поверхности минеральных материа-

лов в составе асфальтобетона достигается за счет основных и карбонатных горных пород (известняков, доломитов). С поверхностью кислых горных пород (с содержанием SiO_2 более 65 %) битум не образует прочных водостойких хемосорбционных связей.

Проведенные предварительные исследования каменных материалов, содержащих хризотил-асбест, показали, что они могут быть использованы для строительства асфальтобетонных покрытий. С целью определения условий вовлечения горных пород с неравномерным содержанием хризотил-асбеста в технологию производства асфальтобетона были произведены лабораторные исследования его химического состава, асфальтобетонных образцов полученных на его основе.

Методы и материалы исследования. Для исследования использовали щебень, песок и высевки, полученные из карьера «III Поденный рудник», расположенного в г. Алапаевске Свердловской области в центральной части северной половины Алапаевского ультраосновного массива. Вмещающими рудными породами карьера являются перидотиты гарбургитового типа, в той или иной степени затронутые процессами серпентинизации. Гарбургиты характеризуются непостоянным содержанием пироксена. Перидотиты характеризуются неравной серпентинизацией, к которым относят минералы полиморфных модификаций, таких как антигорит, хризотил (хризотил-асбест), лизардит и др.

Для изучения элементного состава и структуры поверхности волокон хризотил-асбеста был использован сканирующий электронный микроскоп – модель S-3400N фирмы HITACHI, оснащенный спектрометром X Flash Detektor 4010 фирмы Bruker (Германия), для проведения рентгеноспектрального микроанализа использовался метод электронно-зондового анализа.

Для формирования асфальтобетонных образцов были использованы: песок, соответствующий ГОСТ 8735-2014; щебень, соответствующий ГОСТ 8267-93; отсев дробления, соответствующий ГОСТ 8735-2014; битум БНД 90/130 по ГОСТ 22245-90. Физико-механические характеристики исследуемых образцов асфальтобетона проводили по ГОСТ 9128-2013.

Полученные результаты. На первом этапе для установления наличия химических элементов, обуславливающих отнесение горных пород к основным (магматические горные породы, содержащие от

45 до 52 % кремнезёма (SiO_2) по массе) или кислым (магматические силикатные горные породы с высоким содержанием кремнезёма – свыше 63 % SiO_2 по массе), был проанализирован элементный состав волокон хризотил-асбеста. Спектрограмма и вещественный состав изученных проб хризотил-асбеста представлены на рис. 1 и в табл. 1.

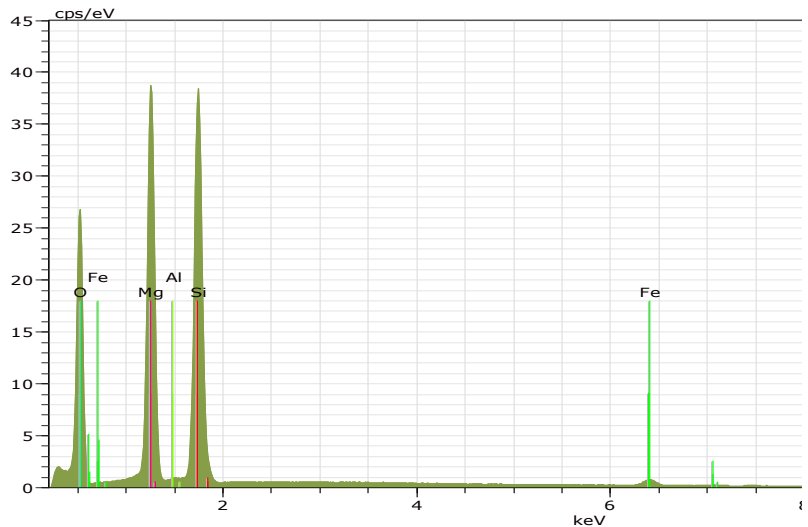


Рис. 1. Спектрограмма волокна хризотил-асбеста

Определенный вещественный состав волокон хризотил-асбеста представлен в табл. 1.

Таблица 1

Вещественный состав хризотил-асбеста

Содержание, масс. %									
MgO	SiO ₂	CaO	FeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	ZnO	CuO	NiO	MnO
49,6	47,4	2,2	2,1	0,9	0,8	0,6	0,15	0,1	0,1

Содержание SiO_2 в составе хризотил-асбеста позволяет отнести его к основным горным породам, которые способны обеспечить хорошую адгезию битума к поверхности и продолжительную водостойкость, морозостойкость, трещиностойкость асфальтобетонного покрытия. Присутствие оксидов кальция, железа и алюминия в хризотил-асбесте улучшают его сцепление с битумом за счет повышения взаи-

модействия с ними кислотных компонентов битума с образованием на поверхности водостойкого слоя, который обеспечит структурную прочность асфальтобетона при воздействии воды.

С целью установления характера поверхности волокон хризотил-асбеста были получены микроснимки с разным увеличением, которые представлены на рис. 2 и 3.

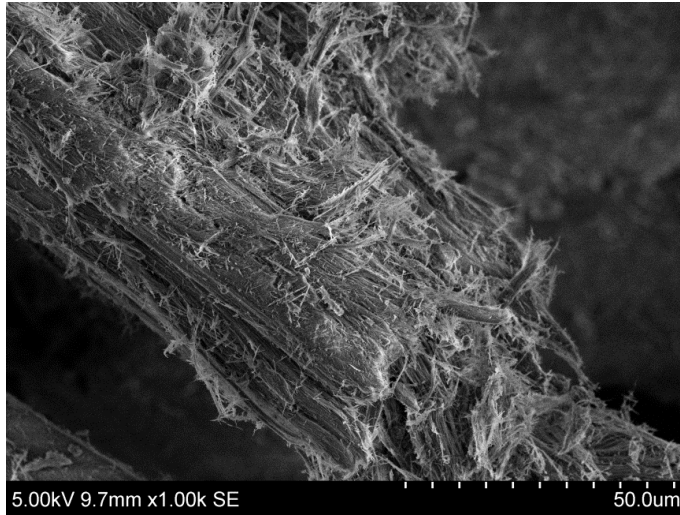


Рис. 2. Волокно хризотил-асбеста при увеличении $\times 1000$

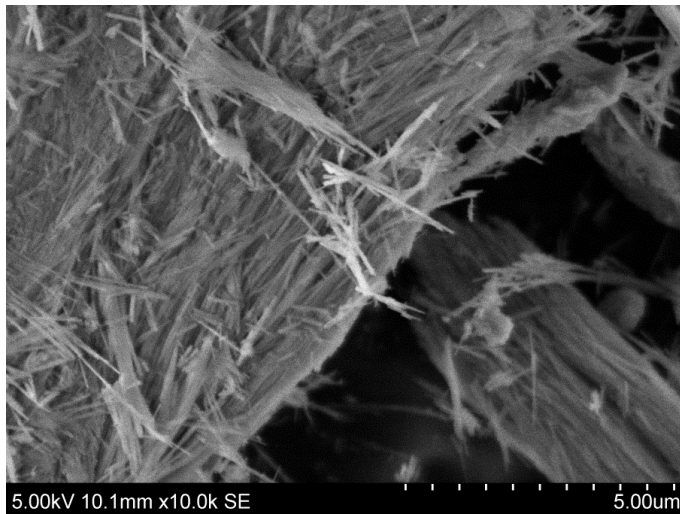


Рис. 3. Поверхность волокна хризотил-асбеста при увеличении $\times 10\,000$

Анализ микроснимков волокон хризотила позволяет сделать вывод об эффективности его использования в измельченном состоянии в качестве структурообразующего элемента для асфальтобетона. При измельчении хризотил-асбеста образуются волокна длиной от 50 мкм до 15 мм, диаметром от 1 мкм до 0,5 мм, что обеспечивает плотную структуру асфальтобетона, заполняя пустоты между частицами песка и щебня. При этом они могут исполнять роль армирующего элемента. Развитая, шероховатая поверхность волокон позволяет переводить значительное количество свободного битума в пленочное состояние, тем самым замедляя его стекание с минеральных частиц асфальтобетона под действием высоких температур окружающей среды. Это способствует формированию структуры асфальтобетона, обладающей повышенным сопротивлением внешним нагрузкам.

Предварительно оценка удельной поверхности измельченного хризотил-асбеста составила $21 \text{ м}^2/\text{г}$ (для минерального порошка удельная поверхность частиц мельче 0,071 мм составляет $340 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Для оценки влияния свободных волокон хризотил-асбеста на характеристики асфальтобетона были сформованы и испытаны образцы, соответствующие типу А марки П. Исследования физико-механических характеристик асфальтобетона проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9128-2013. Для приготовления асфальтобетонной смеси использовались (карьер «III Поденный рудник»): щебень, фракция 10-20 мм (29 %) и фракция 5–10 мм (24 %), ГОСТ 8267-93; песок из отсева дробления фракции 0–4 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014; минеральный порошок МП-1 (3 %); битум БНД 90/130 (6,4 %) в соответствии с ГОСТ 22245-90.

Для регулирования содержания свободных волокон хризотил-асбеста каменные материалы продувались при организации сушки в сушильном барабане. Применение данного технологического приема позволяло регулировать содержание свободных волокон хризотил-асбеста в минеральной части асфальтобетонной смеси от 3,5 до 1,2 %. Это позволило снизить расход битума с 8,3 до 6,4 % с сохранением удовлетворяющих ГОСТ физико-механических показателей. Физико-механические показатели полученного асфальтобетона с разным содержанием свободных волокон хризотил-асбеста (состав № 1 – 1,2 % волокон; состав № 2 – 3,5 % волокон) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические показатели асфальтобетона

Показатель	Требования ГОСТ 9128-2013	Фактические показатели	
		состав № 1	состав № 2
1. Водонасыщение, %	2,0–5,0	2,72	2,06
2. Предел прочности при сжатии при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа	$< 0,9$	1,73	1,79
$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа	$< 2,2$	3,73	4,24
$t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа	$> 12,0$	9,77	9,8
3. Водостойкость	$> 0,85$	1,00	1,00
4. Водостойкость при длительном водонасыщении	$> 0,75$	0,97	0,98
5. Сдвигоустойчивость по: коэффициент внутреннего трения	$> 0,87$	0,95	0,97
сцеплению при сдвиге при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа	$> 0,24$	0,31	0,34
6. Трещиностойкость по пределу проч- ности на растяжение при расколе, МПа	От 3,0 до 6,0	4,1	5,3

Полученные образцы асфальтобетона с различным содержанием свободных волокон хризотил-асбеста по своим физико-механическим показателям полностью удовлетворяют требованию ГОСТ 9128-2013 на асфальтобетон. Использование дополнительной продувки сушильного барабана на асфальтобетонном заводе позволило регулировать содержание свободных волокон хризотил-асбеста и снизить потребление битума при сохранении физико-механических характеристик. Это, в свою очередь, позволяет снизить стоимость производства асфальтобетонной смеси.

Для установления, как ведет себя асфальтобетон, полученный из горной породы, содержащей хризотил-асбест, в натуральных условиях эксплуатации, смесь № 1 была использована для ремонта автомобильной дороги по ул. Горняков на участке от примыкания к асфальтобетонному покрытию напротив дома № 47 до бровки автомобильной дороги «Дорога – объезд» на 0,970 км на территории муниципального образования Алапаевское, р.п. Верхняя Синячиха в 2020 г. Конструкция дорожной одежды, в которой использован асфальтобетон с хризотил-асбестом, показана на рис. 4.

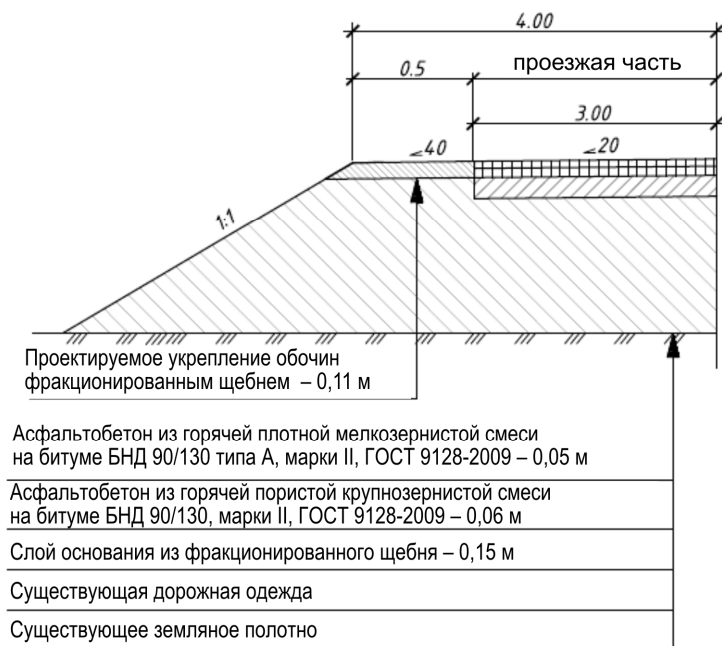


Рис. 4. Конструкция дорожной одежды

В ходе проведения ремонтных работ часть дорожной одежды была выполнена с использованием асфальтобетонной смеси аналогичной марки и типа с использованием аналогичного гранулометрического состава каменных материалов, но не содержащих хризотил-асбест. Асфальтобетон по своим физико-механическим характеристикам был близок к асфальтобетону с хризотил-асбестом. Проведенные на протяжении трех лет наблюдения за техническим состоянием покрытия показали, что участок автомобильной дороги, выполненный из асфальтобетона с хризотил-асбестом, не имеет трещин, отсутствует колея, поверхность покрытия ровная без видимых дефектов. На участке дороги, имеющей покрытие, выполненное с использованием обычного асфальтобетона, наблюдаются волосяные трещины, начальные процессы шелушения и образования колеи.

Обсуждение. Согласно теории П.А. Ребиндера, асфальтобетоны относятся к коагуляционному типу дисперсных структур. В них зерна щебня, песка составляют минеральный остов структуры. Через тонкие слои битума они связаны между собой межмолекулярными и поверх-

ностными силами. В работах Л.Б. Гезенцева, Н.В. Горелышева, И.В. Королева, А.В. Руденского, И.А. Рыбьева, П.В. Сахарова, Я.Н. Ковалева, Э.В. Котлярского и других ученых также отмечается, что свойства асфальтобетона определяются преимущественно его структурой. Смещение битума с минеральным порошком приводит к образованию более плотной коагуляционной структуры, которая определяется возможностью свободного битума перейти в сольватированное и иммобилизационное состояние. Прочность и деформационная устойчивость асфальтобетона зависят от толщины битумных пленок. Полученные в ходе исследования данные позволяют предположить, что мелкодисперсные волокна хризотил-асбеста способны заменить часть минерального порошка и выполнить его функцию по иммобилизации битума в составе асфальтобетона. Установленное в ходе натурных наблюдений снижение скорости колееобразования асфальтобетонного покрытия, возможно, вызвано работой волокон хризотил-асбеста в качестве армирующих элементов. Высокая прочность волокон на разрыв при обеспечении высокой степени адгезии битума к его поверхности должна обеспечить повышенную устойчивость асфальтобетона к растягивающим усилиям. Повышение показателя сдвигоустойчивости и трещиностойкости (см. табл. 2), косвенно подтверждает выдвинутое предположение.

Выводы. Наблюдение за состоянием асфальтобетонного покрытия, на устройство которого был использован асфальтобетон, полученный из минеральных материалов, содержащих свободные волокна хризотил-асбеста, находящиеся в эксплуатации, можно сделать вывод, что использование горных пород с содержанием хризотил-асбеста позволяет повысить эксплуатационные показатели асфальтобетонов. Это обусловлено шероховатой поверхностью волокон хризотил-асбеста, обладающих высокой прочностью на разрыв, способных не только создавать сольватные битумные пленки в структуре асфальтобетона, а также выполнять армирующие функции, повышая сдвигоустойчивость структуры асфальтобетона.

Ввиду того что горные породы фрагментарно в своей структуре содержат хризотил-асбест, необходимо обеспечить регулирование содержания свободных волокон хризотил-асбеста в минеральной части асфальтобетонной смеси при технологическом процессе производства асфальтобетонной смеси. Как показала практика переработки горных

пород, свободные волокна образуются в большом количестве не только при дроблении, а также и при сушке минеральных материалов и при смешивании. Это обусловлено истиранием поверхности частиц и высвобождением волокон из структуры горной породы. Организация регулирования содержания свободных волокон на этапах сушки, нагрева и смешивания позволит снизить потребление битума и стоимость асфальтобетонной смеси.

Использование горных пород с включениями хризотил-асбеста позволяет произвести равномерное распределение волокон в дисперсных структурах без организации дополнительной технологической операции смешивания, которая не всегда может обеспечить качественное распределение мелкодисперсного компонента в объеме. Это позволяет рекомендовать использование горных пород с включениями хризотил-асбеста для производства эффективных асфальтобетонных смесей, наряду с использованием стабилизирующих добавок типа «Стилобит», «Хризотоп».

Библиографический список

1. Закономерности распределения битума на поверхности минерального материала / А.С. Ивкин, В.В. Васильев, Н.К. Кондрашева, К.Г. Суханова // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2017. – № 38 (64). – С. 81–85.
2. Mehrara, A. A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete / A. Mehrara, A. Khodaii // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 38. – P. 423–442.
3. Пугин, К.Г. Повышение эксплуатационных показателей асфальтобетона, используемого для транспортного строительства / К.Г. Пугин, О.В. Яконцева // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 3. – С. 141–145.
4. Пугин К.Г. Научные основы минимизации негативных воздействий на геосферу при использовании отходов производства в строительстве автореф. дис. ... д-ра техн. наук / К.Г. Пугин; Моск. гос. строит. ун-т. – М., 2016. – 44 с.
5. Совершенствование методов определения сцепления битума с минеральными материалами / В.В. Васильев, А.С. Ивкин, Е.В. Саламатова, Н.В. Майданова // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2018. – № 42 (68). – С. 58–61.
6. Мясникова, А.А. Методы регулирования свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона / А.А. Мясникова // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2023. – № 3 (37). – С. 26–32.
7. Влияние химического состава минеральных материалов на их сцепление с дорожным битумом / В. В. Васильев, А. С. Ивкин, Е. В. Саламатова [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2018. – № 12. – С. 34–38.
8. Влияние условий обработки гранитного материала адгезионными присадками на его сцепление с битумом / А.С. Ивкин, В.В. Васильев, Е.В. Саламатова [и др.] // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2019. – № 48 (74). – С. 91–95.
9. Баранов, И.А. Оценка влияния стабилизирующих добавок на физико-механические показатели свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона / И.А. Баранов, А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – 2010. – № 5 (31). – С. 45–51.

10. Баранов, И.А. Структура дорожного битума и его взаимодействие со стабилизирующими волокнистыми добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона / И.А. Баранов, А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 4 (48). – С. 75–83.

11. Тюрюханов, К.Ю. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне / К.Ю. Тюрюханов, К.Г. Пугин // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 19.

12. Пугин, К.Г. Использование хризотил-асбеста при производстве асфальтобетонных смесей / К.Г. Пугин, О.В. Яконцева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2023. – Т. 1. – С. 323–327.

13. Hung, A.M. Effects of water exposure on bitumen surface microstructure / A.M. Hung, A. Goodwin, E.H. Fini // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 135. – P. 682–688.

14. Fischer, H.R. On the interfacial interaction between bituminous binders and mineral surfaces as present in asphalt mixtures / H.R. Fischer, E.C. Dillingh, C.G.M. Hermse // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 265. – P. 495–499.

15. Гридчин, А.М. Особенности взаимодействия битума с минеральными материалами из кислых пород / А.М. Гридчин, В.В. Ядыкина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – № 40. – С. 13–16.

16. Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures / L.D. Poulikakos, Salomé dos Santos, Moises Bueno, Simon Kuentzel [et al.] // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 51. – P. 414–423.

17. Salomedos Santos, S. Effect of annealing conditions on the molecular properties and wetting of viscoelastic bitumen substrates by liquids / S. Salomedos Santos, L.D. Poulikakos, M.N. Partl // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2017. – № 10 (1). – P. 2–14.

References

1. Ivkin A. S. Zakonomernosti raspredelenija bituma na poverhnosti mineral'nogo materiala [Patterns of bitumen distribution on the surface of mineral material] / A. S. Ivkin, V. V. Vasil'ev, N.K. Kondrasheva, K. G. Suhanova // *Izvestija SPbGTI (TU)*. - 2017. – no.38 (64). - pp. 81-85.

2. Amir Mehrara, Ali Khodaii. A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete // *Construction and Building Materials*. – Vol. 38. – 2013. – pp. 423-442.

3. Pugin K.G., Jakonceva O.V. Povyshenie jekspluatacionnyh pokazatelej asfal'tobetona, ispol'zuemogo dlja transportnogo stroitel'stva [Increasing the performance indicators of asphalt concrete used for transport construction] // *Himija. Jekologija. Urbanistika*. – 2021. – Т. 3. – pp. 141-145.

4. Pugin K.G. Nauchnye osnovy minimizacii negativnyh vozdeystvij na geosferu pri ispol'zovanii othodov proizvodstva v stroitel'stve avtoref [Scientific basis for minimizing negative impacts on the geosphere when using industrial waste in construction]. dis. ... doktora tehn. nauk – Mosk. gos. stroit. un-t. Moskva.– 2016. – 44p.

5. Vasil'ev V.V. Sovershenstvovanie metodov opredelenija scepnenija bituma s mineral'nymi materialami [Improving methods for determining the adhesion of bitumen to mineral materials] / V.V. Vasil'ev, A.S. Ivkin, E.V. Salamatova, N.V. Majdanova // *Izvestija SPbGTI (TU)*. - 2018. – no. 42 (68). - pp.58-61.

6. Mjasnikova A. A. Metody regulirovanija svojstv shhebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [Methods for regulating the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete] // *Arhitektura, gradostroitel'stvo i dizajn*. – 2023. – no.3 (37). – pp. 26-32.

7. Vasil'ev V.V. Vlijanie himicheskogo sostava mineral'nyh materialov na ih scepnenie s dorozhnym bitumom [The influence of the chemical composition of mineral materials on their adhesion to road bitumen] / V. V. Vasil'ev, A. S. Ivkin, E. V. Salamatova i dr. // *Neftepererabotka i neftehimija*. - 2018. – no.12. - pp. 34-38.

8. Ivkin A.S. Vlijanie uslovij obrabotki granitnogo materiala adgezionnymi prisadkami na ego scepnenie s bitumom [Influence of conditions for processing granite material with adhesive additives on its adhesion to bitumen] / A. S. Ivkin, V. V. Vasil'ev, E. V. Salamatova i dr. // *Izvestija SPbGTI (TU)*. -2019. – no. 48 (74). - pp. 91-95.

9. Baranov I.A., Solomencev A.B. Ocenka vlijanija stabilizirujushhih dobavok na fiziko-mehaniicheskie pokazateli svojstv shhebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [Assessment of the influence of stabilizing additives on the physical and mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete] // *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. - 2010. - no. (31). - pp. 45 - 51.
10. Baranov I.A., Solomencev A.B. Struktura dorozhnogo bituma i ego vzaimodejstvie so stabilizirujushhimi voloknistymi dobavkami dlja shhebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [The structure of road bitumen and its interaction with stabilizing fibrous additives for crushed stone-mastic asphalt concrete] // *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. - 2013. - № 4 (48). - pp. 75 - 83.
11. Tjurjuhanov K.Ju., Pugin K.G. Issledovanie vzaimodejstvija bituma s mineral'nymi chastitsami v asfal'tobeton [Study of the interaction of bitumen with mineral particles in asphalt concrete] // *Transportnye sooruzhenija*. - 2018. - Т. 5. - no.1. - pp. 19.
12. Pugin K.G. Ispol'zovanie hrizatil-asbesta pri proizvodstve asfal'tobetonnyh smesej [The use of chrysotile asbestos in the production of asphalt concrete mixtures] / K.G. Pugin, O.V. Jakonceva // *Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse*. - 2023. - Т. 1. - pp. 323-327.
13. Albert M. Hung, Adrian Goodwin, Elham H. Fini, Effects of water exposure on bitumen surface microstructure // *Construction and Building Materials*. - 2017. - Vol. 135. - pp. 682-688.
14. 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*. - Vol. 265. - 2013. - pp. 495-499.
15. Gridchin A.M., Jadykina V.V. Osobennosti vzaimodejstvija bituma s mineral'nymi materialami iz kislyh porod [Features of the interaction of bitumen with mineral materials from acidic rocks] // *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. - 2008. - no.40. - pp. 13-16.
16. Influence of short and long term aging on chemical, microstructural and macro-mechanical properties of recycled asphalt mixtures. / Lily D. Poulidakos, Salomé dos Santos, Moises Bueno, Simon Kuentzel, [et al.] // *Construction and Building Materials*. - 2014 - Vol. 51. pp. 414-423.
17. Salomedos Santos, S., Poulidakos, 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*. - 2017. - no.10 (1) - pp. 2-14.

K. Pugin, O. Yakontseva

IMPROVING THE PROPERTIES OF CRUCCHED STONE FROM CARBONATE ROCKS DUE TO MODIFICATION OF ITS SURFACE WITH A LIGNOSULPHONATE SOLUTION

Asphalt concrete is a rationally selected organomineral mixture of mineral materials and bitumen. Unjustified use of one of the components in an asphalt concrete mixture, as a rule, leads to a sharp decrease in the operational properties of asphalt concrete. To reduce the cost of producing asphalt concrete mixtures, it is possible to use local stone materials. In part of the Urals, rocks contain inclusions of chrysotile asbestos, which reduces their value as mineral materials for the production of asphalt concrete mixtures. This is due to the formation of a large number of free finely dispersed chrysotile asbestos fibers during technological impacts on rocks. In order to regulate the content of free fibers in the mineral components supplied to produce asphalt concrete, it is proposed to organize additional blowing of the drying drum of the asphalt concrete plant at the mixing and drying stage. The article presents studies of the microstructure of the surface of chrysotile asbestos and its elemental chemical composition. A low content of silicon

oxide in the composition of chrysotile asbestos has been established, which makes it possible to ensure good adhesion of bitumen to the surface, water resistance, frost resistance and crack resistance of the asphalt concrete pavement. The presence of calcium, iron and aluminum oxides in chrysotile asbestos indicates its potentially effective adhesion to bitumen due to increased interaction with them of the acidic components of bitumen with the formation of a water-resistant layer on the surface, which will ensure the structural strength of asphalt concrete when exposed to water. The data obtained show the prospects of using rocks containing chrysotile asbestos as stone materials to produce asphalt concrete with increased consumer properties. This is confirmed by full-scale tests of asphalt concrete produced using chrysotile asbestos.

Keywords: asphalt concrete, highways, chrysotile asbestos, crushed stone, road building materials.

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Российская Федерация) – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные технологии», Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, Пермь, ул. Петropавловская, 23); профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта (614060, Пермь, б-р Гагарина, 33, e-mail: stm@pgatu.ru).

Яконцева Ольга Валерьевна (Пермь, Российская Федерация) – аспирант кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: stm@pgatu.ru).

Konstantin Pugin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya str., Perm, 614990); Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport (33, Gagarin Boulevard, Perm, 614060, e-mail: stm@pgatu.ru).

Olga Yakontseva (Perm, Russian Federation) – Graduate student, Department of the Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: stm@pgatu.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Поступила: 22.04.2024

Одобрена: 06.05.2024

Принята к публикации: 28.05.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Пугин, К.Г. Использование горных пород с хризотил-асбестом для производства асфальтобетона / К.Г. Пугин, О.В. Яконцева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2024. – № 2. – С. 16–29. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.02.02

Please cite this article in English as: Pugin K., Yakontseva O. Improving the properties of crushed stone from carbonate rocks due to modification of its surface with a lignosulphonate solution. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2024, no. 1, pp. 16-29. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.02.02