



doi: 10.18720/CUBS.69.3

Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона

Stabilizing additives of various production for stone mastic asphalt

А.А. Соловьёва^{1*}, А.Н. Новик²

Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-
Петербург, Политехническая ул., 29

A.A. Solovyeva^{1*}, A.N. Novik²

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29
Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

щебеночно-мастичный асфальтобетон;
стабилизирующая добавка;
гранулированный стабилизатор;
целлюлозное волокно;
дорожное покрытие;

KEYWORDS

stone mastic asphalt;
stabilizing additive;
granular stabilizer;
cellulose fiber;
pavement;

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 03.05.2018
Принята: 04.09.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 03.05.2018
Accepted: 04.09.2018

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается такой вид дорожного покрытия как щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) и применение стабилизирующих добавок для улучшения характеристик этого покрытия. В работе была приведена классификация существующих стабилизаторов в зависимости от основных составляющих компонентов. Были рассмотрены основные свойства, особенности, стоимость наиболее распространенных видов добавок как импортного, так и отечественного производства. Был проведен сравнительный анализ, по результатам которого были сделаны выводы о том, что самой экономичной в плане расхода стабилизирующей добавкой является Topcel вследствие высокого содержания целлюлозных волокон, а с экономической точки зрения оптимальным вариантом в расчете по средней стоимости добавки на тонну ЩМАС можно считать добавки российского производства Хризотоп и Стилобит, так как их стоимость не зависит от курса валют и затрат на импорт товара.

ABSTRACT

This article considers type of road surface as stone mastic asphalt (SMA) and the use of stabilizing additives to improve the characteristics of this pavement. The work was given the classification of existing stabilizers depending on the main constituents. The main properties, features and cost of the most common types of additives both imported and domestic were considered. A comparative analysis was carried out which led to the conclusion that Topcel is the most economical stabilizing additive in terms of consumption due to the high content of cellulose fibers. And from the economic point of view, the optimal option in the calculation of average cost of the additive per tonne of SMA can be considered the additives of the Russian production Hrizotop and Stilobit, as their value does not depend on the exchange rate and the cost of importing the goods.

Содержание

1.	Введение	25
2.	Метод	28
3.	Результаты и обсуждение	29
4.	Заключение	30

1. Введение

В условиях непрерывного роста транспортного потока на автомобильных дорогах и увеличения грузоподъемности транспортных средств преждевременное разрушение покрытий может происходить даже при соблюдении всех технологий строительства [1, 2]. Такой характер воздействия на автодорогу

предъявляет высокие требования к эксплуатационным характеристикам дорожных покрытий, которые можно улучшить, используя новые дорожно-строительные материалы или технологии устройства покрытий.

Как в России, так и в других странах все большей популярностью пользуется щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Он был разработан в Германии в 1960-х годах и получил широкое применение как средство по борьбе с усиленным разрушением дорожных покрытий и колееобразованием вследствие увеличения автомобильного движения [3, 4]. Впервые в России пробные участки, на которых использовалось покрытие из ЩМА, появились в 2000 году [5]. После положительных опытов, подтверждающих преимущества использования щебеночно-мастичный покрытий вместо традиционного асфальтобетона, с 1 мая 2003 года действует ГОСТ 31015–2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», в котором прописаны наиболее практически применимые составы и технические требования к материалам, учитывая климатические условия и нормативно-техническую базу России, а также изданы «Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА)» ФГУП «Союздорнии» от 2002 года.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон имеет ряд преимуществ в сравнении с обычным асфальтобетоном. Например, меньшую скорость накопления пластических деформаций, большую способность к деформации при отрицательной температуре, благодаря чему повышается трещиноустойчивость покрытий [6]. Также ЩМА отличается повышенной водо- и морозостойкостью из-за наличия свободного битума. Шероховатость покрытия, превосходящая в 1,5 раза показатель асфальтобетонной смеси типа А [7], обеспечивает лучшее сцепление колес с покрытием и предупреждает аквапланирование и образование водного аэрозоля. Его жесткая скелетная конструкция способствует уменьшению колееобразования за счет того, что нагрузки с поверхности передаются в нижележащие слои через отдельные контактирующие частицы материала, таким образом слой меньше деформируется в продольном и поперечном направлениях. Для изготовления и укладки смеси не требуется использования специального оборудования, что положительно сказывается на экономическом аспекте использования данного материала. Вместе с этим он обеспечивает хорошие эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, не теряя высокую прочность и долговечность, а также дает возможность укладки тонкими слоями.

В первую очередь основным отличием ЩМА является состав смеси, который позволяет создавать другую структуру материала и иной способ взаимодействия компонентов. Его основой является жесткий каркас из щебня с кубовидной формой зерен (70-80%) [7], который воспринимает на себя основные нагрузки движущегося транспорта, тогда как в состав горячих асфальтобетонов входит до 60% щебня [8]. Согласно ГОСТ 31015–2002 по крупности используемого щебня смеси разделяют на три вида: ЩМА-20, ЩМА-15 и ЩМА-10 [7], где число показывает максимально возможный размер зерен в миллиметрах, и их применяют для покрытий толщиной 4-6 см, 3-5 см и 2-4 см соответственно.

Низкая пустотность уплотненного слоя покрытия обеспечивается путем использования большего количества вяжущего материала (5,5-7,5%) и минерального порошка (10-20%) [9]. Вместе с тем повышенное содержание вяжущего приводит к его стеканию с поверхности зерен щебня при приготовлении, хранении и укладке смеси. Во избежание этого используются стабилизирующие добавки, которые напрямую оказывают влияние на физико-механические свойства асфальтобетона. В роли добавок в основном выступают целлюлозное волокно или вещества на его основе [7, 9], так как оно способно удерживать, а не впитывать битум на своей поверхности, замедляя процесс износа и увеличивая срок службы покрытия. Нормативные физико-механические свойства целлюлозных волокон [9] указаны в таблице 1.

Таблица 1. Нормативные значения для целлюлозных волокон

Наименование показателя	Значение
Влажность, % по массе, не более	8,0
Термостойкость при температуре 220°С по изменению массы при прогреве, %, не более	7,0
Содержание волокон длиной от 0,1 мм до 2,0 мм, %, не менее	80

Изначально в качестве стабилизатора применялись распушенные целлюлозные волокна, но при укладке дорожного покрытия появлялись такие дефекты как расслоение смеси и образование битумных пятен из-за повышенной гигроскопичности свободных волокон, их затрудненного распределения в смесителе, комкования и обгорания, поэтому стали использовать гранулы, помогающие избавиться от этих недостатков [10].

Гранулированные добавки можно разделить на 3 вида [10, 11]:

- гранулы из чистой целлюлозы
- с добавлением модификаторов (воск, парафин, стеарин и др.), которые уменьшают гигроскопичность
- с битумным покрытием, которое обеспечивает водонепроницаемость и хорошую сыпучесть гранул, устраняет комкование при хранении и обгорание в смесителе. Такие свойства упрощают дозирование, увеличивают равномерность распределения гранул в смесителе, не увеличивая время сухого перемешивания.

Также разрешается использовать другие добавки (полимерные, минеральные и иные волокна, резиновый порошок и др.), которые способны удерживать битум, при этом не сказываясь отрицательно на свойствах смеси. Пригодность таких добавок и оптимальное содержания в смеси определяют путем проведения испытаний. [7, 9]

Изучению разных аспектов стабилизирующих добавок посвящено большое количество работ:

- использование различных материалов в составе добавок: травяной целлюлозы из льна, рапса, камыша [10, 12, 13], целлюлозно-бумажных отходов из бумаги и картона [14], микрокристаллической целлюлозы и госсиполовой смолы [15], золы и пустой породы [16], высокодисперсных отсеков керамзита и перлита [17, 18], окисленного атактического полипропилена [19], пластиковых отходов [20], кокосовых волокон и волокон ананаса [21, 22];
- определение микроструктуры целлюлозных добавок и геометрических параметров волокон [23-27], от которых зависит способность добавки распределяться и удерживать битум;
- подбор оптимального состава смеси разными сочетаниями минерального заполнителя, связующего и стабилизирующей добавки, а также определение влияния этих составов на характеристики асфальтобетона [28-37];

Сегодня на рынке представлено достаточное количество вариантов стабилизирующих добавок как отечественного, так и импортного производства. Разновидности некоторых добавок представлены в таблице 2.

Таблица 2. Классификация стабилизирующих добавок

Основные составляющие компоненты		Наименование добавки	Страна производителя
Целлюлоза	гранулы из обработанных битумом целлюлозных волокон	СД-3 ГБЦ	Россия, г. Екатеринбург
		Viatop	Германия
	гранулы из обработанных воском целлюлозных волокон	Torcel	Германия
Асбест	гранулы на основе природного волокнистого материала	Хризотоп	Россия, г. Екатеринбург
Асбест+базальт	гранулы на основе комбинированного минерального волокна	Стилобит	Россия, г. Екатеринбург
Резина	гранулы или порошок на основе девулканизированной резины	УНИРЕМ	Россия, г. Подольск
Полимеры	высокопрочные акриловые волокна	Dolanit	Испания

В связи с большим количеством видов стабилизирующих добавок, различающиеся по вещественному составу и форме выпуска, актуальной является тема сравнения характеристик и особенностей этих добавок. В статье рассматриваются наиболее распространенные в России добавки со своими характеристиками и преимуществами для выполнения сравнительного анализа.

Целью данной работы служит выявление у стабилизирующих добавок к ЩМА преимуществ относительно друг друга как со стороны качественных показателей, так и с экономической точки зрения, а также рассмотрение возможности использования добавок отечественного производства в качестве альтернативы распространенным импортным аналогам без потери качества.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ для выявления наиболее экономичного в плане расхода стабилизатора
2. Сравнить добавки по средней стоимости на 1 тонну смеси ЩМА
3. Исходя из проведенного анализа сделать вывод о возможности замены добавок зарубежного производства отечественной продукцией

2. Метод

Для решения поставленных задач в качестве стабилизирующих добавок для проведения сравнительного анализа рассматриваются по три добавки импортного производства: Viator 66, Viator premium, Torcel и российского производства: Хризотоп, Стиллобит, СД-3 ГБЦ.

Немецкая компания J.RETTENMAIER&SÖHNE (JRS) впервые в мире изобрела и начала производить для дорожного строительства стабилизирующие добавки на основе целлюлозы. В России компания имеет свое представительство в Москве и завод в Нижегородской области.

Из широкой линейки, представленной шестью продуктами [38], наиболее популярными в России являются два вида: Viator 66 и Viator premium. Обе добавки представляют собой гранулы из целлюлозы, покрытые битумом. Состав Viator 66: 66% целлюлозных волокон и 34% битума 60/90, Viator premium: 90% целлюлозных волокон и 10% битума 50/70 [38]. На тонну смеси требуется не более 5 кг Viator 66 (рекомендуемое значение – 4,5 кг) и 3-4 кг Viator premium (рекомендуемое значение – 3 кг). Требования к добавкам регламентируются СТО 5718-001-87252612-2015 и СТО 5718-002-87252612-2016 для Viator 66 и Viator premium соответственно. Стоимость этой добавки составляет примерно 48 руб/кг. Характеристики добавок Viator 66 [39] и Viator premium [40] представлены в таблице 3.

Таблица 3. Свойства стабилизирующих добавок Viator 66 и Viator premium

Показатель	Значение	
	Viator 66	Viator premium
Характеристика гранул		
Содержание целлюлозных волокон в гранулах	65-75%	85-90%
Средняя длина гранулы	2-10 мм	2-8 мм
Средняя толщина гранулы	3,5±1 мм	4±1 мм
Насыпная плотность	490-570 кг/м ³	400-480 кг/м ³
Влажность	<8%	<8%
Термостойкость при температуре 220°С по изменению массы из гранул при прогреве	<7%	<7%
Термическое разрушение	200°С	200°С
Содержание мелкой фракции	(менее 2 мм) <5%	(менее 3,5 мм) <6%
Характеристика целлюлозы		
Содержание целлюлозы в целлюлозном волокне	>80%	>80%
Средняя длина волокон	1100 мкм	1100 мкм
Средняя толщина волокон	45 мкм	45 мкм

Следующая стабилизирующая добавка также немецкого производителя – Torcel, которая представляет собой гранулы, состоящие из целлюлозного волокна (95±3%) и восковой смеси. Эта смесь служит оболочкой для гранулы, улучшает адгезионные свойства, увеличивая сцепление между щебнем и битумом. Добавка также является негигроскопичной, поэтому устойчива к воздействию атмосферной влаги и не слеживается при хранении. При ее использовании необходимо увеличить время сухого перемешивания на 5-7 секунд для равномерного распределения гранул по всему объему, нагрева и распушения волокон. Гранулы устойчивы при нагревании до 250°С и не сгорают ни на одной стадии производства смеси. Torcel имеет довольно маленький расход по сравнению с другими продуктами – 2,8-3,2 кг на тонну асфальтобетонной смеси, что обеспечивает существенную экономию расхода. Однако, стоимость добавки зависит от курса валют, так как это импортный товар, и является довольно высокой, приблизительно 1 евро/кг ≈ 70,76 руб на 04.04.2018 г. Характеристики добавки [41] представлены в таблице 4.

Таблица 4. Свойства стабилизирующей добавки Torcel

Показатель	Значение
Характеристика гранул	
Содержание целлюлозных волокон в гранулах	95±3%
Насыпная плотность	420-480 кг/м ³
Влажность	<6%
Термическое разрушение	250°С
Термостойкость при температуре 850°С, потеря по массе	10-20%
Полный остаток на сите 4,5 мм	≥93%
Характеристика целлюлозы	
Содержание целлюлозы в целлюлозном волокне	>80%
Средняя длина волокон	1000-1200 мкм
Средняя толщина волокон	40-50 мкм

Российские производители также представляют на рынке варианты добавок, не уступающих по качеству импортным. Например, гранулированный стабилизатор Хризотоп – добавка из минерального хризотилового волокна и органического связующего, требования к которой регламентируются СТО 72376975-001-2009 [42]. Это исключительно первичное волокно, которое не подвержено гниению, впитывает битум, не давая вытекать его излишкам из смеси. Благодаря высокой прочности на разрыв хризотилового волокна, асфальтобетон имеет большую прочность. Во время сухого перемешивания волокна пушатся, а не измельчаются, обеспечивая лучшие армирующие свойства. Особое органическое связующее взаимодействует с битумом, улучшая его свойства. Хризотоп не взаимодействует с водой, имеет большой показатель водостойкости, обеспечивающий долговечность покрытия при длительном водонасыщении, и высокую термостойкость, вследствие которой добавка способна сохранять свои свойства при сильном нагреве до 700°C. Расход добавки составляет 2-5 кг на тонну смеси, оптимальным считается значение 3 кг, а ее стоимость около 44 руб/кг, что дает ей преимущество по сравнению с добавками импортного производства.

Стабилизирующая добавка Стилобит, выпускающаяся с 2014 года, которая является усовершенствованным видом добавки Хризотоп, состоит из хризотилового и базальтового волокон и битума и регламентируется СТО 26431298-001-2013 [43]. Хризотилое волокно способствует увеличению усталостной прочности асфальтобетона, а базальтовое создает эффект микроармирования и препятствует образованию колеи. Так же, как и Хризотоп, Стилобит обладает высокой термостойкостью до 700°C, не подвергается процессам гниения и не взаимодействует с водой, что позволяет продлить срок хранения и эксплуатации. Расход добавки также составляет 2-5 кг на тонну смеси, рекомендуемое значение – 3 кг, а стоимость порядка 43 руб/кг. Характеристики добавок [44, 45] представлены в таблице 5.

Таблица 5. Свойства стабилизирующих добавок Хризотоп и Стилобит

Показатель	Значение
Средняя длина гранулы	5-20 мм
Средняя толщина гранулы	4,5 или 6±0,5 мм
Насыпная плотность	<950 кг/м ³
Влажность	<3%
Термостойкость при температуре 220°C по изменению массы из гранул при прогреве	<3%
Содержание технологической мелочи	<3,5%
Снижение показателя стекания	>0,25%

Следующая стабилизирующая добавка российского производства – СД-3 ГБЦ, которая была разработана и запущена в производство в 2011 году и регулируется СТО 77142802-003-2011 [46]. Она представляет собой гранулы, состоящие из волокон сульфатной небеленой целлюлозы (90%) и битумного вяжущего 90/130. Расход добавки составляет 3-4 кг на тонну смеси и стоимость порядка 47 руб/кг. Характеристики добавки [47] представлены в таблице 6.

Таблица 6. Свойства стабилизирующей добавки СД-3 ГБЦ

Показатель	Значение
Характеристика гранул	
Содержание целлюлозных волокон в гранулах	90%
Средняя длина гранулы	3-15 мм
Средняя толщина гранулы	4,5±0,5 мм
Насыпная плотность	450-550 кг/м ³
Влажность	<8%
Термическое разрушение	220°C
Теплостойкость при температуре 220°C по изменению массы из гранул при прогреве	<7%
Содержание технологической мелочи	<10%
Характеристика целлюлозы	
Содержание целлюлозы в целлюлозном волокне	>80%
Средняя длина волокон	100-2000 мкм

4. Результаты и обсуждение

Оценка расхода добавок проводится на основании графика 1, на котором представлено процентное содержание целлюлозы в добавках. Наиболее экономичным в плане расхода вариантом стабилизатора из

целлюлозы (Viatop 66, Viatop premium, Topcel, СД-3 ГБЦ) является тот, в котором содержится наибольший процент главного компонента, поэтому применение добавок с большим содержанием связующего считается не экономичным. Из рассмотренных стабилизаторов на основе целлюлозы самым высоким содержанием целлюлозных волокон отличается добавка Topcel, также достаточно высокий процент волокон содержится в добавках Viatop premium и СД-3 ГБЦ.

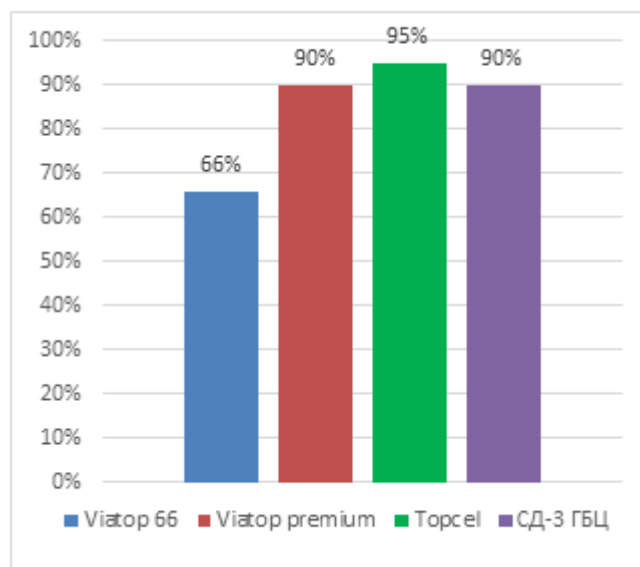


Рисунок 1. Процентное содержание целлюлозы в добавке

Оценка стоимости добавки, необходимой для приготовления одной тонны смеси ЩМА, производится с помощью сводной таблицы 7. В ней приведены рекомендуемые производителем значения среднего расхода добавки на тонну смеси и средняя стоимость за килограмм добавки. По критерию минимального расхода можно выделить такие добавки как Topcel, Хризотоп, Стилобит и Viatop premium, при этом стабилизаторы Хризотоп и Стилобит также имеют минимальную стоимость за килограмм. На основании среднего расхода добавки и ее средней стоимости, была рассчитана средняя стоимость стабилизатора на тонну асфальтобетонной смеси. Для добавок Хризотоп и Стилобит при рекомендуемом расходе 3 кг эта стоимость составляет ~130 руб/т, что является самым низким показателем. Самым экономически невыгодным вариантом можно считать добавку Topcel, стоимость за килограмм которой в 1,6 раза превышает стоимость Хризотопа и Стилобита, что сводит к нулю его преимущество в минимальном расходе.

Таблица 7. Средняя стоимость добавки, необходимой для приготовления тонны смеси ЩМА

Стабилизирующая добавка	Средний расход, кг/т	Средняя стоимость (на 04.04.18 г.), руб/кг	Стоимость на тонну ЩМАС, руб/т
Viatop 66	4,5	48	~216
Viatop premium	3	48	~144
Topcel	2,8-3,2	71	~199-227
Хризотоп	2-5 (оптимальный – 3)	44	~88-220 (132)
Стилобит	2-5 (оптимальный – 3)	43	~86-215 (129)
СД-3ГБЦ	3-4	47	~141-188

5. Заключение

Проведя анализ свойств добавок, можно сделать следующие выводы:

- Из приведенных на графике 1 показателей видно, что из рассмотренных целлюлозных добавок наибольшее количество целлюлозных волокон содержится в добавке Topcel – 95%, поэтому ее расход является самым низким из рассмотренных добавок – 2,8 кг/т. При уменьшении содержания целлюлозы до 90% (Viatop premium и СД-3ГБЦ), расход добавок увеличивается на 7% и составляет 3 кг/т. При самом низком процентном содержании волокон у добавки Viatop 66 – 66%, расход увеличивается на 61% по сравнению с добавкой Topcel и составляет 4,5 кг/т.
- Сравнивая представленные добавки по средней стоимости, приведенной в таблице 7, можно сделать вывод, что самым оптимальным вариантом как по стоимости, так и по расходу можно считать добавки российского производства Хризотоп и Стилобит. Несмотря на самый низкий расход, стоимость добавки Topcel на тонну смеси ЩМА будет самой высокой, так как это импортный товар:

на 70% больше российских аналогов. Также достаточно экономически невыгодным вариантом является Viator 66 из-за большого расхода: его стоимость выше на 66%.

3. Основными производителями стабилизирующих добавок долгое время были иностранные компании, особенное распространение получили добавки немецкого производства, и в России до недавнего времени не было отечественных аналогов. Хотя эти компании и обеспечивали высокое качество выпускаемой продукции, цены на эти добавки были и остаются также довольно высокими. На сегодняшний день на рынок поставляются добавки российского производства, которые соответствуют требованиям нормативных документов и не уступают по своим свойствам известным немецким маркам, но вместе с тем имеют меньшую стоимость, что делает их использование экономически выгодным. Поэтому применение отечественных добавок вместо импортных аналогов делает производство ЩМА более доступным и распространенным. Они достаточно долго используются в разных районах не только России, но и ближнего зарубежья, при строительстве ответственных дорожных объектов, в том числе на участках основных федеральных трасс, подведомственных ФДА Росавтодор, дорогах ГК Автодор, олимпийских объектах в Сочи, в большинстве крупных городов, в том числе на МКАД, СПбКАД.

Литература

- [1]. Лазарев Ю.Г., Новик А.Н., Шибко А.А. и др. Строительство автомобильных дорог и аэродромов: учебное пособие. СПб: ВAMTO, 2013. 528 с.
- [2]. Новик А.Н., Шибко А.А., Трепалин В.А. и др. Строительные материалы для транспортного строительства: учебное пособие. СПб: ВAMTO, 2014. 348 с.
- [3]. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий: учебное пособие. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. 65 с.
- [4]. Beena K.S., Bindu C.S. Influence of additives on the characteristics of stone matrix asphalt. School of Engineering, Cochin University of Science and Technology. 2012. 199 p.
- [5]. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: Элит, 2009. 176 с.
- [6]. Эфа А.К., Жураускас А.В., Акулов А.П., Галкин С.В., Осипов В.Н. Щебеночно-мастичный асфальтобетон. Теоретические основы, практика применения // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 22-23.
- [7]. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). М.: Союздорнии, 2002. 36 с.
- [8]. ГОСТ 9128-2013. Межгосударственный стандарт. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 50 с.
- [9]. ГОСТ 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия (с Поправкой). М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 21 с.
- [10]. Галимуллин И.Н. Комплексная добавка для битумного вяжущего на основе целлюлозы и флотогудрона: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 02.00.13. Казань, 2015. 140 с.
- [11]. Blazejowski K. Stone Matrix Asphalt: Theory and Practice. Boca Raton: CRC Press, 2011. 307 p.
- [12]. Галимуллин И.Н., Башкирцева Н.Ю., Лебедев Н.А., Нугманов О.К. Исследование способа получения стабилизирующей добавки для дорожного строительства // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 8. С. 276-279.
- [13]. Мухаметханов А.М., Нугманов О.К., Гаврилов В.И. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 6. С. 204-210.
- [14]. Ядыкина В.В., Тоболенко С.С., Траутвайн А.И. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе отходов целлюлозно-бумажной промышленности // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2. С. 31-36.

References

- [1]. Lazarev Y.G., Novik A.N., Shibko A.A. Stroitelstvo avtomobilnykh dorog i aerodromov [Construction of roads and airfields]. Saint-Petersburg: VAMTO, 2013. 528 p. (rus)
- [2]. Novik A.N., Shibko A.A., Trepalin V.A. Stroitelnye materialy dlia transportnogo stroitelstva [Building materials for transport construction]. Saint-Petersburg: VAMTO, 2014. 348 p. (rus)
- [3]. Kostin V.I. Shchebenochno-mastichnyi asfaltobeton dlia dorozhnykh pokrytii [Stone mastic asphalt for pavement]. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2009. 65 p. (rus)
- [4]. Beena K.S., Bindu C.S. Influence of additives on the characteristics of stone matrix asphalt. School of Engineering, Cochin University of Science and Technology. 2012. 199 p.
- [5]. Kiriukhin G.N., Smirnov E.A. Pokrytia iz shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona [Pavement of stone mastic asphalt]. Moscow: Elit 2009. 176 c.(rus)
- [6]. Efa A.K., Zhurauskas A.V., Akulov A.P., Galkin S.V., Osipov V.N. Shchebenochno-mastichnyi asfaltobeton. Teoreticheskie osnovy, praktika primeneniia [Stone mastic asphalt. Theoretical bases, practice of application]. Stroitelnye materialy. 2003. No. 1. Pp. 22-23. (rus)
- [7]. Metodicheskie rekomendatcii po ustroistvu verkhnikh sloev dorozhnykh pokrytii iz shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona (ShchMA). Moscow: Soiuздornii, 2002. 36 p. (rus)
- [8]. Russian State Standard GOST 9128-2013. Mezghosudarstvennyi standart. Smesi asfaltobetonnye, polimerasfaltobetonnye, asfaltobeton, polimerasfaltobeton dlia avtomobilnykh dorog i aerodromov. Tekhnicheskie usloviia [Asphaltic concrete and polimer asphaltic concrete mixtures, asphaltic concrete and polimer asphaltic concrete for roads and aerodromes. Specifications]. Moscow: Standartinform, 2014. 50 p. (rus)
- [9]. Russian State Standard GOST 31015–2002. Smesi asfaltobetonnye i asfaltobeton shchebenochno-mastichnye. Tekhnicheskie usloviia (s Popravkoy) [Bituminous stone mastic mixtures and stone mastic asphalt. Specifications]. Moscow: Gosstroj Rossii, GUP TcPP, 2003. 21 p. (rus)
- [10]. Galimullin I.N. Kompleksnaia dobavka dlia bitumnogo viazhushchego na osnove tcelliuozy i flotogudrona [Complex additive for bitumen binder based on cellulose and flotation]. Kazan, 2015. 140 p. (rus)
- [11]. Blazejowski K. Stone Matrix Asphalt: Theory and Practice. Boca Raton: CRC Press, 2011. 307 p.
- [12]. Galimullin I.N., Bashkirtceva N.lu., Lebedev N.A., Nugmanov O.K. Issledovanie sposoba polucheniia stabiliziruiushchei dobavki dlia dorozhnogo stroitelstva [Investigation of the method of obtaining a stabilizing additive for road construction]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. No. 8. Pp. 276-279. (rus)
- [13]. Mukhametkhanov A.M., Nugmanov O.K., Gavrilov V.I. Sposob polucheniia stabiliziruiushchei dobavki dlia shchebenochno-mastichnoi asfaltobetonnoi smesi [Method for obtaining a

- [15]. Оев С.А., Сайрахмонов Р.Х., Умаров С.С., Хасанов Н.М. Повышение физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона за счет госсиполовой смолы и микрокристаллической целлюлозы // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 216-219.
- [16]. Sarkkinen M., Luukkonen T., Kempainen K. A waste rock and bioash mixture as a road stabilization product: 3rd International Conference on Wastes // Solutions, Treatments and Opportunities. 2015. Pp. 283-288.
- [17]. Борисенко Ю.Г., Казарян С.О., Ресь Е.В. Эффективность применения стабилизирующих добавок из порошковых пористых материалов в щебеночно-мастичном асфальтобетоне // Наука. Инновации. Технологии. 2013. № 3. С. 49-56.
- [18]. Борисенко Ю.Г., Ионов М.Ч., Казарян С.О., Гордиенко Е.В. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные высокодисперсными отсевами дробления керамзита и перлита // Строительные материалы. 2014. № 1-2. С. 72-74.
- [19]. Безотосный А.И., Осипов В.Н. Комплексная добавка в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. 2012. № 3. С. 99-104.
- [20]. Beena K.S., Bindu C.S. Waste plastic as a stabilizing additive in Stone Mastic Asphalt // International Journal of Engineering and Technology. 2010. Vol. 2. Pp. 379-387.
- [21]. Panda M., Suchismita A., Giri J. Utilization of ripe coconut fiber in Stone Matrix Asphalt Mixes // International Journal of Transportation Science and Technology. 2013. Vol. 2. Pp. 289-302.
- [22]. Satyavathi M., Someswara Rao B., Venkata Rao G. Experimental study of Stone Matrix Asphalt with coir fiber and pineapple fiber // International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. 2016. Vol. 5. Pp. 378-377.
- [23]. Ястремский Д.А., Чепур П.В., Абайдуллина Т.Н. Определение микроструктуры стабилизирующей целлюлозно-бумажной добавки «АРМИДОН» на растровом электронно-сканирующем микроскопе JSM-6510LV // Фундаментальные исследования. 2016. № 9-1. С. 96-101.
- [24]. Yastremsky D.A., Chepur P.V., Abaidullina T.N. Microstructure of the pulp and paper additives for stone-mastic asphalt concrete: AIP Conference Proceedings // Proceedings of the III International Young Researchers Conference. 2017. Pp. 020002.
- [25]. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Оценка параметров микроструктуры добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона с помощью микроскопа Axioskop 2 MAT // Строительство и реконструкция. 2012. № 3. С. 48-58.
- [26]. Meng-Meng Wu, Rui Li, Yu-Zhen Zhang, Liang Fan, Yu-Chao Lv, Jian-Ming Wei. Stabilizing and reinforcing effects of different fibers on asphalt mortar performance // Petroleum Science. 2015. Vol. 12. Pp. 189-196
- [27]. Tran L.Q.N., Nguyen Minh T., Fuentes C.A., Truong Chi T., Van Vuure A.W. Investigation of microstructure and tensile properties of porous natural coir fibre for use in composite materials // Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 65. Pp. 437-445.
- [28]. Псюрник В.А., Чулуенко С.А., Опришко А.В., Золотарев В.А. Роль волокон в формировании физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2005. № 30. С. 203-206.
- [29]. Борисенко Ю.Г., Ионов М.Ч., Казарян С.О. Возможности применения высокодисперсных пористых материалов в качестве стабилизирующих добавок для ЩМА // Дороги и мосты. 2015. № 33. С. 285-296.
- [30]. Борисенко Ю.Г., Борисенко О.А., Казарян С.О., Ионов М.Ч. Влияние высокодисперсных отсевов дробления керамзита на структуру и свойства ЩМА // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 82-85.
- stabilizing additive for stone mastic asphalt mixture]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2010. No. 6. Pp. 204-210. (rus)
- [14]. ladykina V.V., Tobolenko S.S., Trautvain A.I. Stabiliziruiushchaia dobavka dlia shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona na osnove otkhodov tcelliuozno-bumazhnoi promyshlennosti [Stabilizing additive for the stone mastic asphalt concrete using waste of the pulp and paper industry]. News of higher educational institutions. Construction. 2015. No. 2. Pp. 31-36. (rus)
- [15]. Oev S.A., Sairakhmonov R.Kh., Umarov S.S., Khasanov N.M. Povyshenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona za schet gossipolovoi smoly i mikrokrystallicheskoj tcelliuozy [Improvement of physical and mechanical properties of crushed rock-and-mastic asphalt concrete due to using gossipol resin and microcrystalline cellulose]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. No. 2 (55). Pp. 216-219. (rus)
- [16]. Sarkkinen M., Luukkonen T., Kempainen K. A waste rock and bioash mixture as a road stabilization product: 3rd International Conference on Wastes. Solutions, Treatments and Opportunities. 2015. Pp. 283-288.
- [17]. Borisenko Iu.G., Kazarian S.O., Rest E.V. Effektivnost primeneniia stabiliziruiushchikh dobavok iz poroshkovykh poristyykh materialov v shchebenochno-mastichnom asfaltobetone [Effectiveness of using stabilizing additives from powder porous materials in crushed stone-mastic asphalt]. Nauka. Innovatsii. Tekhnologii. 2013. No. 3. Pp. 49-56.
- [18]. Borisenko Iu.G., Ionov M.Ch., Kazarian S.O., Gordienko E.V. Shchebenochno-mastichnye asfaltobeton, modifitsirovannye vysokodispersnyimi otsevmi drobleniia keramzita i perlita [Crushed stone-mastic asphalt-concrete modified with highly dispersed siftings of claydite and perlite crushing]. Stroitelnye materialy. 2014. No. 1-2. Pp. 72-74. (rus)
- [19]. Bezotosnyi A.I., Osipov V.N. Kompleksnaia dobavka v sostave shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei [Complex additive in the composition of stone-mastic asphalt mixtures]. Aktualnye voprosy proektirovaniia avtomobilnykh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OAO GIPRODORNI. 2012. No. 3. Pp. 99-104. (rus)
- [20]. Beena K.S., Bindu C.S. Waste plastic as a stabilizing additive in Stone Mastic Asphalt. International Journal of Engineering and Technology. 2010. Vol. 2. Pp. 379-387.
- [21]. Panda M., Suchismita A., Giri J. Utilization of ripe coconut fiber in Stone Matrix Asphalt Mixes // International Journal of Transportation Science and Technology. 2013. Vol. 2. Pp. 289-302.
- [22]. Satyavathi M., Someswara Rao B., Venkata Rao G. Experimental study of Stone Matrix Asphalt with coir fiber and pineapple fiber. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. 2016. Vol. 5. Pp. 378-377.
- [23]. Iastremskii D.A., Chepur P.V., Abaidullina T.N. Opredelenie mikrostruktury stabiliziruiushchei tcelliuozno-bumazhnoi dobavki «ARMIDON» na rastrovom elektronno-skaniroemykh miksoskope JSM-6510LV [Determination of the microstructure stabilizing the pulp and paper additive "Armidon" by the raster electron scan microscope JSM-6510LV]. Fundamentalnye issledovaniia. 2016. No. 9-1. Pp. 96-101. (rus)
- [24]. Yastremsky D.A., Chepur P.V., Abaidullina T.N. Microstructure of the pulp and paper additives for stone-mastic asphalt concrete: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the III International Young Researchers Conference. 2017. Pp. 020002.
- [25]. Solomentcev A.B., Baranov I.A. Otchenka parametrov mikrostruktury dobavok dlia shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona s pomoshchiu miksoskopa Axioskop 2 MAT [parameter estimation of the microstructure of additives for mastic-macadam asphalt concrete, using a microscope Axioskop 2 MAT]. Stroitelstvo i rekonstruktsiia. 2012. No. 3. Pp. 48-58. (rus)
- [26]. Meng-Meng Wu, Rui Li, Yu-Zhen Zhang, Liang Fan, Yu-Chao Lv, Jian-Ming Wei. Stabilizing and reinforcing effects of different fibers on asphalt mortar performance. Petroleum Science. 2015.

- [31]. Баранов И.А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.05. Орел, 2015. 176 с.
- [32]. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Влияние стабилизирующих добавок для ЩМА на свойства вязкого дорожного битума // Строительство и реконструкция. 2011. № 4. С. 55-61.
- [33]. Добрынин А.О., Опарина В.В. Сравнение физико-механических свойств ЩМА с применением стабилизатора-модификатора «Унирем» и стабилизатора «Хризотоп» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 70-78.
- [34]. Кручинин И.Н., Дедюхин А.Ю. Повышение эксплуатационных характеристик покрытий автомобильных дорог из щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2015. № 3. С. 85-96.
- [35]. Соломенцев А.Б., Ревякин С.Л., Баранов И.А., Бобков А.С., Савкин Г.А. Оценка эффективности полимерных стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей по битумоёмкости в асфальтовязущем // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 1-4. С. 127-131.
- [36]. Vivek B.R, Sowmya N.J. Utilization of fibre as a strength modifier in Stone Matrix Asphalt // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. 2015. Vol. 3. Pp. 89-105.
- [37]. Raghuram K.B., Venkaiah Chowdary. Performance evaluation of stone matrix asphalt (SMA) using low cost fibres // Journal of the Indian Roads Congress. 2013. Vol. 74-2. Pp. 159-174.
- [38]. Решения для дорожного строительства от JRS [Электронный ресурс]. URL: https://www.retttenmaier.ru/jrs_ru/fiber-solutions/bu-strassenbau/ (дата обращения: 27.01.2017).
- [39]. СТО 5718-001-87252612-2015. Стабилизирующая добавка «VIATOP 66» для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. 2015. 12 с.
- [40]. СТО 5718-002-87252612-2016. Стабилизирующая добавка «VIATOP premium» для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. 2016. 12 с.
- [41]. Стабилизирующая добавка TOPCEL для ЩМА [Электронный ресурс]. URL: <http://bavcompany.ru/catalog/asphalt-addition/dobavki-asfaltobeton/topcel/> (дата обращения: 16.10.2017).
- [42]. Стабилизирующая добавка для ЩМА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chryzotop.ru/> (дата обращения: 27.10.2017).
- [43]. Стабилизирующая добавка для ЩМА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stilobit.ru/> (дата обращения: 30.10.2017).
- [44]. СТО 72376975-001-2009. Гранулированный стабилизатор «ХРИЗОТОП» для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. 2009 17 с.
- [45]. СТО 26431298-001-2013. Гранулированный стабилизатор «Стилобит» для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. 2013. 19 с.
- [46]. Производитель стабилизирующих добавок для ЩМА [Электронный ресурс]. URL: <http://firma-gbc.ru/#companya> (дата обращения: 16.11.2017).
- [47]. СТО 77142802-003-2011. Стабилизирующая добавка СД-3 ГБЦ для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Технические условия. 2011. 13 с.
- Vol. 12. Pp. 189–196
- [27]. Tran L.Q.N., Nguyen Minh T., Fuentes C.A., Truong Chi T., Van Vuure A.W. Investigation of microstructure and tensile properties of porous natural coir fibre for use in composite materials. Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 65. Pp. 437-445.
- [28]. Psiurnik V.A., Chuguenko S.A., Oprishko A.V., Zolotarev V.A. Rol volokon v formirovanii fiziko-mekhanicheskikh svoistv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona [Influence of fibers on physical and mechanical properties of SMA]. Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta. 2005. No. 30. Pp. 203-206. (rus)
- [29]. Borisenko Iu.G., Ionov M.Ch., Kazarian S.O. Vozmozhnosti primeneniia vysokodispersnykh poristyykh materialov v kachestve stabiliziruiushchikh dobavok dlia ShchMA [Possibilities of using highly disperse porous materials as stabilizing additives for SMA]. Dorogi i mosty. 2015. No. 33. Pp. 285-296. (rus)
- [30]. Borisenko Iu.G., Borisenko O.A., Kazarian S.O., Ionov M.Ch. Vliianie vysokodispersnykh otseviv drobleniia keramzita na strukturu i svoistva ShchMA [Influence of fine-disperse screenings of expanded clay crushing on structure and properties of stone mastic asphalt concrete]. Stroitelnye materialy. 2015. No. 5. Pp. 82-85. (rus)
- [31]. Baranov I.A. Otsenka effektivnosti stabiliziruiushchikh dobavok dlia uluchsheniia struktury i svoistv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona [Estimation of the effectiveness of stabilizing additives to improve the structure and properties of stone mastic asphalt]. Orel, 2015. 176 p. (rus)
- [32]. Solomentcev A.B., Baranov I.A. Vliianie stabiliziruiushchikh dobavok dlia ShchMA na svoistva viazkogo dorozhnogo bituma. Stroitelstvo i rekonstruktsiia [Influence of stabilizing additives for RMA on properties of viscous road bitumen]. 2011. No. 4. Pp. 55-61. (rus)
- [33]. Dobrynin A.O., Oparina V.V. Sravnenie fiziko-mekhanicheskikh svoistv ShchMA s primeneniem stabilizatora-modifikatora «Unirem» i stabilizatora «Khrizotop» [Comparison of physical and mechanical properties of SMA with the use of the stabilizer-modifier "Unirem" and the stabilizer "Chryzotope"]. Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost zhiznedeiatelnosti. 2012. No. 2. Pp. 70-78. (rus)
- [34]. Kruchinin I.N., Dediukhin A.Iu. Povyshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik pokrytii avtomobilnykh dorog iz shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonov [Increase of operational characteristics of pavement from stone mastic asphalt]. Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya. 2015. No. 3. Pp. 85-96. (rus)
- [35]. Solomentcev A.B., Reviakin S.L., Baranov I.A., Bobkov A.S., Savkin G.A. Otsenka effektivnosti polimernykh stabiliziruiushchikh dobavok dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei po bitumoemkosti v asfaltoviazushchem [Evaluation of polymer stabilizing additives for stone mastic bitumen-concrete mixes on bitumen content in asphalt binder]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2017. No. 1-4. Pp. 127-131. (rus)
- [36]. Vivek B.R, Sowmya N.J. Utilization of fibre as a strength modifier in Stone Matrix Asphalt. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. 2015. Vol.3. Pp. 89-105.
- [37]. Raghuram K.B., Venkaiah Chowdary. Performance evaluation of stone matrix asphalt (SMA) using low cost fibres. Journal of the Indian Roads Congress. 2013. Vol. 74-2. Pp. 159-174.
- [38]. Resheniia dlia dorozhnogo stroitelstva ot JRS [Online]. URL: https://www.retttenmaier.ru/jrs_ru/fiber-solutions/bu-strassenbau/ (reference date: 27.01.2017). (rus)
- [39]. Standard of organization STO 5718-001-87252612-2015. Stabiliziruiushchaia dobavka «VIATOP 66» dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei. Tekhnicheskie usloviia [Stabilizing additive "VIATOP 66" for stone mastic asphalt mixtures. Specifications]. 2015. 12 p. (rus)
- [40]. Standard of organization STO 5718-002-87252612-2016. Stabiliziruiushchaia dobavka «VIATOP premium» dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei.

Tekhnicheskie usloviia [Stabilizing additive "VIATOP premium" for stone mastic asphalt mixtures. Specifications]. 2016. 12 p. (rus)

- [41]. Stabiliziruiushchaia dobavka TOPCEL dlia ShchMA [Online]. URL: <http://bavcompany.ru/catalog/asphalt-addition/dobavki-asfaltobeton/topcel/> (reference date: 16.10.2017). (rus)
- [42]. Stabiliziruiushchaia dobavka dlia ShchMA [Online]. URL: <http://www.chryzotop.ru/> (reference date: 27.10.2017). (rus)
- [43]. Stabiliziruiushchaia dobavka dlia ShchMA [Online]. URL: <http://www.stilobit.ru/> (reference date: 30.10.2017). (rus)
- [44]. Standard of organization STO 72376975-001-2009. Granulirovannyi stabilizator «Hrizotop» dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei. Tekhnicheskie usloviia [Granular stabilizer «Hrizotop» for stone mastic asphalt mixtures. Specifications]. 2009. 17 p. (rus)
- [45]. Standard of organization STO 26431298-001-2013. Granulirovannyi stabilizator «Stilobit» dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei. Tekhnicheskie usloviia [Granular stabilizer «Stilobit» for stone mastic asphalt mixtures. Specifications]. 2013. 19 p. (rus)
- [46]. Proizvoditel stabiliziruiushchikh dobavok dlia ShchMA [Online]. URL: <http://firma-gbc.ru/#companya> (reference date: 16.11.2017). (rus)
- [47]. Standard of organization STO 77142802-003-2011. Stabiliziruiushchaia dobavka SD-3 GBТс dlia shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonnykh smesei. Tekhnicheskie usloviia [Stabilizing additive "SD-3 GBТс" for stone mastic asphalt mixtures. Specifications]. 2011. 13 p. (rus)

Контактная информация

- 1.* +7(931)2251959, solovyova_anastasiya@mail.ru
(Соловьёва Анастасия Александровна, студент)
2. +7(911)9804457, novik.anatoliy@inbox.ru (Новик
Анатолий Николаевич, к. в.-т. н., доцент)

Contact information

- 1.* +7(931)2251959, solovyova_anastasiya@mail.ru
(Anastasiya Solovyeva, Student)
2. +7(911)9804457, novik.anatoliy@inbox.ru (Anatoliy Novik,
Ph.D., Associate Professor)

© Соловьёва А.А., Новик А.Н. 2018