

STABILIZING ADDITIVE FOR CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE BASED ON A LOW-GRADE PRODUCT AND WASTE FROM THE PRODUCTION OF CHRYSOTILE ASBESTOS

K.T. Arynov¹, A.P. Aueshov^{2}, U. Berikova¹, K.B. Alzhanov², A.E. Tazhayak¹*

¹ LLP "Institute of Innovative Research and Technology», Almaty, Kazakhstan

²M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

*E-mail: i_technology@mail.ru

Abstract: The results of a study of adsorption activity for bitumen and the physical and mechanical characteristics of the additive for crushed stone-mastic asphalt concrete (SMA), made on the basis of low-grade chrysotile and dusty waste from the enrichment of chrysotile-asbestos production, are presented. Structuring of the surface of layered magnesium silicates $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ by treatment with dilute solutions of mineral acids is proposed, in which magnesium dissolution occurs only from the surface layers of magnesium silicate. At the same time, due to the structural features of the tubular structure - multilayering, the initially fibrous structure of magnesium hydrosilicate is preserved, and a layer enriched with silicon is formed on the surface of the fibers. As a result, the surface acquires a more amorphous state, which causes an increase in adsorption activity for bitumen. Based on the results of establishing the physical and mechanical characteristics of an additive made from low-grade chrysotile and powdered waste chrysotile-asbestos in the prepared crushed stone-mastic asphalt concrete mixture (ShchMAS-20), it is shown that the selected composition meets all the requirements of GOST 31015-2002 "Asphalt concrete mixtures and crushed stone asphalt concrete - mastic. Technical conditions".

Key words: low-grade chrysotile-asbestos, dusty waste of chrysotile, stabilizing additive, crushed stone-mastic asphalt concrete.

*Arynov Kazhmukhan
Tokhtiyarovich*

*Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail:
i_technology@mail.ru*

Aueshov Abdrazakh Pernebaevich

*Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail:
centersapa@mail.ru*

Berikova Ulpan

bachelor, researcher, e-mail: ulpashka_95@mail.ru

Alzhanov Kurmanbek Bekzhanovich

Master of Chemistry, chief specialist

Tazhayak Altynai Yesenkyzy

bachelor, researcher, e-mail: alt0na1@mail.ru

Citation: Arynov K.T., Aueshov A.P., Berikova. U., Alzhanov K.B., Tazhayak A.E. Stabilizing additive for crushed stone-mastic asphalt concrete based on a low-grade product and waste from the production of chrysotile asbestos. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 2(86), 64-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.22>

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ НИЗКОСОРТНОГО ПРОДУКТА И ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

К.Т. Арынов¹, А.П. Ауешов², У. Берикова¹, К.Б. Алжанов², А.Е. Тажаяк¹

¹АЛ ТОО «НИИТ», Алматы, Казахстан

²Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауезова, Шымкент, Казахстан

*E-mail: i_technology@mail.ru

Резюме: Представлены результаты исследования адсорбционной активности к битуму и физико-механических характеристик добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), изготовленного на основе низкосортного хризотила и пылевидного отхода обогащения производства хризотил-асбеста. Предложена структуризация поверхности слоистых магнийсиликатов $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обработкой разбавленными растворами минеральных кислот, при котором растворение магния происходит только с поверхностных слоев магнийсиликата. При этом, из особенностей строения трубчатой структуры – многослойности, изначально волокнистая структура гидросиликата магния сохраняется, на поверхности волокон формируется слой обогащенный кремнием. В результате поверхность обретает более аморфное состояние, что обуславливает повышение адсорбционной активности к битуму. Результаты исследования физико-механических характеристик добавки, изготовленной из низкосортного хризотила и порошковидного отхода хризотил-асбеста в составе приготовленной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС-20), показали, что подобранный состав соответствует всем требованиям ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».

Ключевые слова: низкосортный хризотил-асбест, пылевидный отход хризотила, стабилизирующая добавка, щебеночно-мастичный асфальтобетон.

<i>Арынов Кажмухан Тохтиярович</i>	<i>доктор технических наук, профессор</i>
<i>Ауешов Абдразах Пернебаевич</i>	<i>доктор технических наук, профессор</i>
<i>Берикова Улпан</i>	<i>бакалавр</i>
<i>Алжанов Курманбек Бекжанович</i>	<i>магистр химии</i>
<i>Тажаяк Алтынай Есенкызы</i>	<i>бакалавр</i>

1. Введение

Одним из способов решения проблемы повышения долговечности асфальтобетонного покрытия является применение щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА) с различными *стабилизирующими добавками*, улучшающими свойства асфальтобетона и покрытия в целом.

ЩМА изготавливается на обычных асфальтобетонных заводах, оборудованных смесителями принудительного перемешивания, путем смешения в нагретом состоянии щебня, песка из отсевов дробления, минерального порошка, битума или полимер-битумного вяжущего. Однако, повышенное содержание органического вяжущего может привести к его стеканию с поверхности зерен щебня при высоких температурах приготовления, а затем хранения и укладки смеси. Для решения этой проблемы в состав ЩМА обязательно вводят стабилизирующие добавки. Основная задача таких добавок – увеличение толщины битумных пленок,

обеспечение присутствия свободного битума. Добавка помогает исключить отслоение и стекание вяжущего при хранении и транспортировании горячей смеси, а также улучшает однородность и физико-химические свойства ЩМА.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) был разработан в 1966 году в Германии и начиная с 1970г. стал широко применяться в дорожном строительстве, получив название «Splittmastixaspalt» (SMA).

В России первые опытные участки появились в 2000г. на дорогах М-4, М-1. С 2002г. строятся опытные участки в Беларуси, Украине и других странах СНГ. После положительных опытов, подтверждающих преимущества использования щебеночно-мастичной покрытия вместо традиционного асфальтобетона, с 2003г. действует ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», в котором прописаны наиболее практически применимые составы. По физическому состоянию и товарной форме к стабилизирующим добавкам относятся волокнистые (минеральные, целлюлозные и полимерные) и порошковые минеральные добавки.

Изучению разных аспектов стабилизирующих добавок посвящено большое количество работ:

- использование различных материалов в составе добавок: травяной целлюлозы из льна [1], целлюлозно-бумажных отходов из бумаги и картона [2], микрокристаллической целлюлозы и госсиполовой смолы [3], золы и пустой породы [4], высокодисперсных отсевов керамзита и перлита [5], окисленного атактического полипропилена [6], пластиковых отходов [7], волокон ананаса [8];

- определение микроструктуры целлюлозных добавок и геометрических параметров волокон [9], 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 [10,11].

В период с 2011 по 2013 г.г. в России на основе хризотил-асбеста и органических добавок (ноу-хау) были разработаны стабилизирующие добавки «Хризотоп» и «Стилобит» [12,13], получившие широкого распространения на территории России. Хризотилово-порошковые (минеральные) гранулы, в отличие от целлюлозных (органических), не теряют своих свойств очень длительное время. Они, при необходимости, могут быть реализованы в течение нескольких сезонов. Оптимально подобранный состав гранул и плотность позволяет им легко распадаться в ЩМА смеси, что ведет за собой равномерность распределения. А в силу особенностей самого состава (армирующих волокон и стабилизирующего порошка) обеспечивается дополнительное повышение качества

асфальтобетона. В настоящее время в Казахстане, по данным АО «КазДорНИИ», используются стабилизирующие добавки зарубежного производства, в основном немецкие (Viator 66, Torcel), созданные на основе целлюлозы или полимеров, недостатком которых является высокая стоимость. *Цель работы:* Разработка научных и технологических основ получения новой стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) с низкой себестоимостью отвечающая требованиям ГОСТ 31015-2002, на основе низкосортного хризотила и минерально-порошковых отходов обогащения хризотила.

2. Экспериментальная часть

В исследованиях использованы: низкосортный хризотил-асбест ХА-6 (хризотил 6 группы, ТУ 5721-003-00529994-2010) и порошок минеральный универсальный (ПМУ), представленные АО «Костанайские минералы» (г. Житикара). Одним из основных факторов, влияющих на процессы структурообразования ЩМА и обеспечивающих качество дорожного покрытия, является взаимодействие битума с поверхностью стабилизирующей добавки. Прочное сцепление обеспечивает высокие физико-механические характеристики и долговечность материала. Количество битума, химический состав которого связанного с поверхностью волоконистых и порошковых составляющих и их смесей определяют по разности величин адсорбции и десорбции битума различных концентраций, растворенного в бензоле.

Описание эксперимента. Исследование адсорбции битума поверхностью волокнистых, минерально-порошковых составляющих добавки и их смесей. Приготавливают стандартные растворы битума в бензоле, 5 рабочих растворов с концентрацией 0.01-0.09 мг/мл, измеряют оптическую плотность на приборе КФК-3, по полученным данным строят калибровочную график зависимости оптической плотности от концентрации битума в бензоле.

1 г материала (волоконистого, минерально-порошкового и их смесей) взвешивают в пробирках (15 см³), заливают 10 см³ рабочего раствора, встряхивают в течение 1 часа в вибраторе, затем материал осаждают в центрифуге 5 минут. Сливают рабочий раствор, измеряют оптическую плотность раствора. Конечную концентрацию битума определяют по калибровочной кривой. По формуле рассчитывают адсорбционную активность материалов: $q = (C_1 - C_2) \cdot V / m$,

где, q – адсорбционная активность, мг/г, C_1 – начальная концентрация битума, мг/мл, C_2 – конечная концентрация битума, мг/мл, V – объем раствора взятого раствора, мл, m – навеска материала.

По коэффициенту адсорбционной активности (мг/г) оценивают пригодность выбранного материала в качестве сырья.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов с стабилизирующей добавкой исследованы и испытаны согласно требованиям действующего ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», в котором прописаны требования к материалам.

3. Результаты и обсуждение

1. Изучение адсорбционных свойств добавки для ЦМАС

Так как волокнистый гидросиликат магния – $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – хризотил имеет слоистую трубчатую структуру (рисунок 1), при обработке слабым раствором кислоты в течение краткого времени – 10 минут, растворение магния происходит только с поверхностных слоев трубчатой структуры волокна, на поверхности формируется слой, обогащенный кремнием, тем самым значительно снижается гигроскопичность поверхностных слоев волокон гидросиликата магния, обусловленная наличием в поверхностно-структурном слое магния и гидроксильных групп.

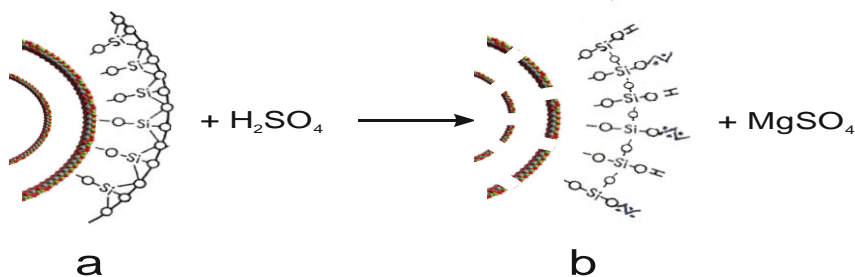


Рисунок 1 – Модель глобулы исходного (а) и кислотно-обработанного (b) хризотила.

При этом, из-за особенности строения трубчатой структуры – многослойности хризотила, изначально волокнистая структура гидросиликата магния сохраняется. Качественным и количественным изменениям – структуризации подвергаются только поверхностные слои волокна. По данным рентгенографии [14], поверхностные слои волокна приобретают более аморфное состояние, что обуславливает повышение пластичности смеси, а после сушки кислотнообработанный гидросиликат магния обладает повышенной адсорбционной активностью к битуму (по значению коэффициента активности близкие показателям «Хризотопа») (таблица 1), что позволяет эффективно стабилизировать ЦМАС.

Таблица 1 – Сравнительная адсорбционная активность изготовленной добавки из ХА-6:ПМУ (1:1) к битуму (из бензольного раствора битума, с концентрацией $C_{\text{битума}}=0.07$ мг/л).

Стабилизирующая добавка	Виды кислот	Содержание кислоты в растворе, С, г-эквивалент	Коэффициент адсорбционной активности битума, g, мг/г	Влажность, в %
Стабилизирующая добавка, полученная обработкой поверхности хризотила растворами смеси (ХА-6 сорт):ПМУ в соотношении 1:1, растворами кислот (условное название «ХрП»)	H ₂ SO ₄	0.1	0.570	1.8-2.0
		0.2	0.582	1.8-2.0
		0.3	0.583	1.8-2.0
		0.4	0.583	1.8-2.0
	HCl	0.1	0.570	1.8-2.0
		0.2	0.578	1.8-2.0
		0.3	0.580	1.8-2.0
		0.4	0.581	1.8-2.0
	HNO ₃	0.1	0.567	1.8-2.0
		0.2	0.570	1.8-2.0
		0.3	0.576	1.8-2.0
		0.4	0.576	1.8-2.0
Хризотоп (СТО 72376975-001-2009 «Гранулированный стабилизатор «Хризотоп» для ЦМАС, ТУ. Екатеринбург, 2009, Россия), включающий парафин или битуминозные материалы (для сравнения)	H ₂ SO ₄	0.1	0.528	1.8-2.0
		0.2	0.531	1.8-2.0
		0.3	0.535	1.8-2.0
		0.4	0.536	1.8-2.0
	HCl	0.1	0.529	1.8-2.0
		0.2	0.534	1.8-2.0
		0.3	0.538	1.8-2.0
		0.4	0.538	1.8-2.0
	HNO ₃	0.1	0.513	1.8-2.0
		0.2	0.519	1.8-2.0
		0.3	0.525	1.8-2.0
		0.4	0.526	1.8-2.0

2. Получение и изучение физико-механических характеристик лабораторного образца стабилизирующей добавки, изготовленного из ПМУ + ХА-6 (1:1), условно обозначенного как «ХрП».

Получение лабораторного образца стабилизирующей добавки «ХрП» для ЦМАС. Образцы стабилизирующей добавки были получены следующим образом: смесь (250.0 г ПМУ + 250.0 ХА-6) была обработана раствором, содержащим 0.2 стехиометрически необходимого количества H₂SO₄ (0.2 СНК H₂SO₄), рассчитанного относительно мольного содержания магния в смеси (250.0 г ПМУ + 250.0 г ХА-6), при соотношении жидкость/твердое Ж:Т=3.57. Продолжительность обработки раствором составляла 1 час, время фильтрации 2-2,5 часа. Средняя масса влажного

осадка – 940-980 г. Влажные осадки гранулировали, пропуская через мясорубку без ножа. Гранулируются хорошо. После сушки в сушильном шкафу при 100°C, получали 480-485 г сухих гранул лабораторного образца, содержащих 1-1.3% влаги. Подбор зернового состава и приготовление ЩМАС-20 (щебеночно-мастичной асфальтобетонная смесь, в соответствии с ГОСТ 31015-2002, с наибольшим размером зерен до 20 мм), также определение физико-механических характеристик лабораторного образца стабилизирующей добавки «ХрП» проводились в условиях аккредитованной лаборатории АО «КазДорНИИ» (г. Алматы).

Подбор зернового состава. Для приготовления смеси каменные материалы были просеяны на узкие фракции 15-20 мм, 10-15 мм и 5-10 мм. Состав минеральной части:

- Щебень фракции 15-20 мм, карьер «Озентас» – 38%
- Щебень фракции 10-15 мм, карьер «Озентас» – 22%
- Щебень фракции 5-10 мм, карьер «Озентас» – 14%
- Отсев дробления щебня фр. 0-5 мм, карьер «Озентас» – 16%
- Активированный минеральный порошок ТОО «Жартас-СН» – 10%

Гранулометрический состав подобранной смеси показан на рисунке 2.

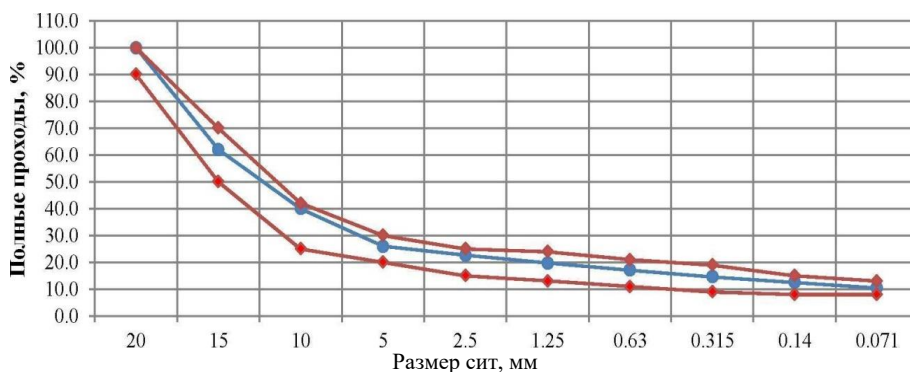


Рисунок 2 – Кривая гранулометрического состава ЩМАС-20.

Приготовление ЩМАС-20. Приготовление производилось путем взвешивания расчетного количества исходных материалов, нагрева каменных материалов в сушильном шкафу до требуемой температуры, перемешивания в лабораторной лопастной мешалке, введения стабилизирующей добавки и минерального порошка, затем битума. Перемешивание осуществлялось до достижения визуальной однородности. Температурный режим следующий: в каменный материал, нагретый до температура 170-175°C, вводились добавка «ХрП» и минеральный порошок, затем битум БНД 100/130 при температуре 150°C. Температура готовой смеси составила 170-175°C. Для установления оптимального количества стабилизирующей добавки «ХрП», ее вводили в смесь в количествах от 0.3% до 0.7% от массы минеральной части. Подбор количества

стабилизирующей добавки проводился по показателям стекания вяжущего, плотности, водонасыщения и прочности при сжатии и температуре 50°C. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Подбор содержания добавки

Наименование добавки	Содержание добавки, % от минеральной части	Стекание, %	Средняя плотность г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре 50°C
«ХрП»	0.3	0.08	2.39	2.9	1.0
	0.4	0.06	-	-	-
	0.5	0.05	-	-	-
	0.7	0.07	2.39	3.5	1.2
Требования ГОСТ 31015-2002		не более 0.20	не норм.	до 4.0	не менее 0.7

Исходя из таблицы 2 видно, что оптимальное содержание добавки «ХрП» – 0.3% от минеральной части, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 31015-2002 по показателям стекания вяжущего, водонасыщения и прочности при сжатии и температуре 50°C. *Физико-механические свойства подобранной смеси.* После установления оптимального содержания стабилизирующей добавки, были заформованы образцы высотой и диаметром 71.4 мм по СТ РК 1218 для стандартного определения физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства ЦМА-20 с добавкой «ХрП»

Наименование показателей	Водонасыщение, % по объём	Предел прочности при сжатии при температуре 20°C, МПа	Предел прочности при сжатии при температуре 50°C, МПа	Сдвигоустойчивость по: - коэффициенту внутреннего трения; - по сцеплению при сдвиге при температуре 50°C, МПа	Трещиностойкость предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0°C, МПа	Устойчивость расслаиванию по показателю стекания вяжущего, %
«ХрП» с 0.3%	3.5	3.3	1.2	0.94 0.22	3.7	0.07
Требования ГОСТ 31015	1.5-4.0	не менее 2.5	не менее 0.7	не менее 0.94 не менее 0.20	не менее 3.0 не более 6.5	не более 0.20

Из анализа результатов следует, что подобранный состав соответствует всем требованиям ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».

4. Заключение

При обработке хризотил-асбеста (ХА-6) и отхода обогащения (ПМУ) разбавленными растворами кислот (содержащие 0.2 СНК) происходит структуризация поверхностных слоев слоистых гидросиликатов магния, что обуславливают повышение пластичности и адсорбционной активности к битуму. Результаты исследований по установлению физико-механических характеристик лабораторного образца стабилизирующей добавки для ЩМАС, полученной на основе обработки низкосортного хризотил-асбеста (ХА, 6 группа) и пылевидных отходов (ПМУ) производства хризотил-асбеста разбавленными растворами кислот, показывают, что они могут быть использованы в качестве исходных сырьевых материалов для получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, соответствующим требованиям ГОСТ 31015-2002.

Финансирование: Исследование было проведено при финансовой поддержке ПЦФ КН МОН РК (BR21882242)

Конфликт интересов: в данной работе отсутствует конфликт интересов между авторами.

ТӨМЕН СОРТТЫ ӨНІМ ЖӘНЕ ХРИЗОТИЛ АСБЕСТ ӨНДІРІСІНІҢ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ҚИЫРШЫҚ ТАС-МАСТИКАЛЫҚ АСФАЛЬТБЕТОНҒА АРНАЛҒАН ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШ КОСПА

К.Т. Арынов¹, А.П. Ауешов², У. Берикова¹, К.Б. Алжанов², А.Е. Тажаяқ¹

¹Инновациялық зерттеулер және технологиялар институты, Алматы, Қазақстан

²Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

*E-mail: i_technology@mail.ru

Түйіндеме. Битумның адсорбциялық белсенділігін және хризотил-асбест өндірісін байыту кезіндегі төмен сортты хризотил және шанды қалдықтар негізінде жасалған қиыршық тас-мастикалық асфальтбетонға (СМА) арналған қоспаның физикалық-механикалық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері, ұсынылған. Қабатты магний силикаттары $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ бетін минералды қышқылдардың сұйылтылған ерітінділерімен өңдеу арқылы құрылымдау ұсынылады, онда магнийдің еруі магний силикатының беткі қабаттарынан ғана жүреді. Бұл кезде құбырлы құрылымның құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты – көпқабаттылық, магний гидросиликатының бастапқы талшықты құрылымы сақталып, талшықтардың бетінде кремниймен байытылған қабат түзіледі. Нәтижесінде бег аморфты күйге ие болады, бұл битум үшін адсорбциялық белсенділіктің жоғарылауын тудырады. Дайындалған қиыршық тас-мастика асфальтбетон қоспасындағы (ЩМАС-20) төмен сортты хризотил және ұнтақ хризотил-асбест қалдықтарынан жасалған қоспаның физика-механикалық сипаттамаларын анықтау нәтижелері бойынша таңдалған құрамның сәйкес келетіні көрсетілген. ГОСТ 31015-2002 барлық талаптары «Асфальтбетон қоспалары және қиыршық тас асфальтбетон - мастика. Техникалық талаптар».

Кілт сөздер: төмен сортты хризотил-асбест, шанды хризотил қалдықтары, тұрақтандырғыш қоспа, қиыршық тас-мастикалық асфальтбетон.

<i>Арынов Кажмухан Тохтиярович</i>	<i>техника ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Ауешов Абдразах Пернебаевич</i>	<i>техника ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Берикова Улпан</i>	<i>бакалавр</i>
<i>Алжанов Қурманбек Бекжанович</i>	<i>химия магистрі</i>
<i>Тажаяк Алтынай Есенкызы</i>	<i>бакалавр</i>

Список литературы:

- Galimullin I.N. *Complex additive for bitumen binder based on cellulose and flotation tar*. [Cand. tech. sci. diss.] Kazan, **2015**, 140 p. DOI: <https://www.semanticscholar.org/author/I-Galimullin/146970415>
- Yadykina V.V., Tobolenko S.S., Trautvain A.I. Stabilizing additive for crushed stone- mastic asphalt concrete based on pulp and paper industry waste News of higher educational institutions. *Construction*. **2015**, No. 2, 31-36. DOI: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-izst/2015/2-165175>
- Oev S.A., Sayrahmonov R.Kh., Umarov S.S., Khasanov N.M. Increasing the physical and mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete due to gossypol resin and microcrystalline cellulose. *Sci. Bull. Civ. Eng.* **2016**, No. 2, (55). 216-219, DOI: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/3_69.pdf
- Sarkkinen M., Luukkonen T., Kemppainen K. A. Waste rock and bioash mixture as a road stabilization product: *3rd International Conference on Wastes Solutions, Treatments and Opportunities*. **2015**, 283-288. DOI: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/3_69.pdf
- Borisenko Yu.G., Ionov M.Ch., Kazaryan S.O., Gordienko E.V. Crushed stone-mastic asphalt concrete modified with highly dispersed screenings of crushed expanded clay and perlite. DOI: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-strm/2014/1/2-869879>
- Bezotosny A.I., Osipov V.N. Complex additive in the composition of crushed stone- mastic asphalt concrete mixtures Current issues in the design of highways. Collection of scientific works of JSC GIPRODORNIL. **2012**, No. 3, 99-104. DOI: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/3_69.pdf
- 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. 379-387. DOI: https://www.researchgate.net/publication/310443661_Experimental_Study_Of_Stone_Matrix_Aspphalt_With_Coir_Fiber_And_Pineapple_Fiber
- 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. P. 378-377. DOI: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4973018>
- 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**, 020002. DOI: <https://catalog.tsuab.ru/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=56910>
- Borisenko Yu.G., Ionov M.Ch., Kazaryan S.O. Possibilities of using highly dispersed porous materials as stabilizing additives for SMA Roads and Bridges. **2015**, No. 33, – 285-296. DOI: <https://catalog.tsuab.ru/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=56910>
- Solomentsev A.B., Revyakin S.L., Baranov I.A., Bobkov A.S., Savkin G.A. Evaluation of the effectiveness of polymer stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures in terms of bitumen capacity in asphalt binder. *Int. J. Sci. Res.* DOI: <https://research-journal.org/archive/1-55-2017-january/ocenka-effektivnosti-polimernyx-stabiliziruyushhix-dobavok-dlya-shhebenochno-mastichnyx-asfaltobetonnyx-smesej-po-bitumoemkosti-v-asfaltovyazhushhem> **2017**, No. 1-4, 127-131.
- Stabiliziruiushchaia dobavkadliaShchMA, reference date: **10/27/2017**, (in Rus). DOI: <http://www.chryzotop.ru/>
- Stabiliziruiushchaia dobavka dlia ShchMA, reference date: **10/30/2017**, (in Rus). DOI: <http://www.stilobit.ru>
- Auyeshov A., Satimbekova A., Arynov K., Bekaulova A., Yeskibayeva Sh., Idrisheva Zh. Environmentally friendly and resource-saving technology for disposal of dusty asbestos-containing wastes and production of magnesium salts. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2006-2021 Asian Research Publishing Network (ARNP). All rights reserved, Pakistan, V. 16, No.9, **2021**, R. 987-990. DOI: https://arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0521_8579.pdf