



УДК 625.855.3, 625.851

Лупанов Андрей Павлович

доктор технических наук, профессор, генеральный директор

E-mail: abz4@abz4.ru

АБЗ-4 «Капотня»

Адрес организации: 109429, Россия, г. Москва, ул. Верхние Поля, д. 54

Суханов Алексей Сергеевич

кандидат технических наук, генеральный директор

E-mail: dorexpert@yandex.ru

ООО «Дорэксперт»

Адрес организации: 109429, Россия, г. Москва, ул. Верхние Поля, д. 54, стр. 1

Силкин Вячеслав Васильевич

кандидат технических наук, профессор

E-mail: vsilkin@mail.ru

Козиков Игорь Олегович

аспирант

E-mail: i-kozikov@mail.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Адрес организации: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Ильина Ольга Николаевна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: ilina@kgasu.ru

Казанский архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследование влияния асфальтового гранулята на свойства литого асфальтобетона

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования являлось определение влияния асфальтового гранулята и добавки «Sasobit» на свойства литых асфальтобетонных смесей.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в улучшении физико-механических свойств литого асфальтобетона при снижении температуры приготовления и укладки асфальтобетонных смесей на 20°C, за счет введения асфальтового гранулята и добавки «Sasobit» в количестве 0,3 % от массы вяжущего.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной области состоит в обеспечении качества производства литых асфальтобетонных смесей при снижении их стоимости, а также в создании условий для увеличения объемов производства литого асфальтобетона для строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог.

Ключевые слова: асфальтовый гранулят, литой асфальтобетон, асфальтобетонный завод, литые асфальтобетонные смеси, битум, глубина вдавливания штампа, водонасыщение, подвижность смеси, экономическая эффективность.

Введение

В настоящее время в России и за рубежом расширяется производство литых асфальтобетонных смесей при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог:

- покрытий и слоев дорожных покрытий;
- покрытий на мостах, эстакадах, путепроводах и тротуарах;
- покрытий в зоне межрельсового пространства трамвайных путей.

По данным Международной Ассоциации производителей литой асфальтобетона (ИМАА) только в Европе ежегодно производится от 800 тыс. до 1 млн. тонн литых асфальтобетонных смесей. В последнее время большое внимание уделяется экологичности литого асфальтобетона, снижению энергозатрат, а также снижению температуры производства и укладки асфальтобетонных смесей ниже 230°C. В этих целях проводятся исследования по введению в литые асфальтобетонные смеси модифицирующих добавок, при этом особое внимание уделяется улучшению физико-

механических показателей (литой асфальтобетонной) смеси и снижению выбросов вредных веществ до максимально разрешенных экологическим законодательством [1].

Классификация и область применения литых смесей

В России свойства литого асфальтобетона нормируется двумя документами ГОСТ Р 54401-2011 «Дороги автомобильные общего пользования. Асфальтобетон дорожный литой горячий. Технические требования» и ТУ 5718002-04000633-2006 «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия», в соответствии с которыми, типы литых смесей и область их применения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Классификация и область применения литых смесей

Нормативный документ	Тип смеси	Новое строительство	Капитальный ремонт	Текущий ремонт	Тротуары, отмостки вокруг зданий и велосипедные дорожки
ГОСТ Р 54401-2011	I	+	+	+	-
	II	+	+	+	+
	III	-	-	-	+
ТУ 5718002-04000633-2006	I	+	+	-	-
	II	+	+	-	-
	III	+	+	-	-
	IV	-	-	-	+
	V	-	-	+	-

Литые асфальтобетонные смеси от обычных горячих смесей отличается повышенным содержанием вяжущего и минерального порошка, более высокой температурой (210-230°C) при приготовлении и укладке. Преимущества литого асфальтобетона: высокая плотность, износостойкость, коррозионная стойкость. Благодаря этим свойствам, литой асфальтобетон хорошо воспринимает динамические нагрузки и в последние годы, стал незаменимым материалом для покрытий на мостах. К недостаткам литого асфальтобетона следует отнести низкую стойкость к статическим нагрузкам, высокую себестоимость, а также необходимость применения специальных термомиксеров для доставки и укладки смеси.

Для улучшения работы литого асфальтобетона под воздействием статических нагрузок необходимо применять более вязкие битумы марки БНД 40/60 или полимерно-битумные вяжущие (ПБВ). Учитывая, что стоимость ПБВ может в полтора-два раза превышать стоимость битума, а битумы с пенетрацией ниже 60 выпускаются достаточно редко, приходится искать иные способы повышения прочности литого асфальтобетона. Одним из таких способов является применение асфальтового гранулята в составе смеси. Влияние асфальтового гранулята на свойства асфальтобетона связано со старением битума в составе гранулята. Старение проявляется в повышении вязкости битума и, соответственно, в повышении прочности и снижении деформативности асфальтобетона [2].

В соответствии с ГОСТ Р 54401-2011 в литые асфальтобетонные смеси допускается использование асфальтобетонного гранулята в количестве:

- не более 10 % от массы смеси для устройства нижнего и верхнего слоя асфальтобетонного покрытия;
- не более 20 % от массы смеси для устройства выравнивающего слоя.

Показатели асфальтового гранулята

В целях качественного приготовления литой асфальтобетонной смеси важен учет особенностей асфальтового гранулята, связанных с его неоднородностью, поскольку при разборке покрытия и складировании гранулята происходит перемешивание материалов с различных объектов.

В табл. 2 приведены данные по содержанию компонентов в асфальтовом грануляте, поступившем на АБЗ-4 «Капотня» после фрезерования с 19 объектов капитального ремонта в г. Москве в течении нескольких лет.

Таблица 2

Содержание компонентов и показатели однородности асфальтового гранулята

Показатели	Щебень 5-20	Песок	Минеральный порошок (<0,071 мм)	Битум (> 100 %)
Среднее содержание компонентов в выборке, %	33,8	56,2	10,0	5,9
Среднее квадратическое отклонение	14,7	13,7	2,5	0,8
Процент вариации, %	43,5	24,4	25,0	13,6

Обработка этих данных методом определения среднего квадратического отклонения и средней арифметической вариационного ряда (процентным отношением среднеквадратического отклонения к среднеарифметической величине) показала, что коэффициент вариации по содержанию щебня, песка, минерального порошка и битума в исследуемых пробах составляют порядка 44 %, 24 %, 25 % и 14 % соответственно. Было установлено, что повышение однородности исходного гранулята можно добиться за счет его предварительного дробления и сортировки [3]. Опыт АБЗ-4 «Капотня» показал, что после дробления и отсева старого асфальтобетона в молотковой дробилке неоднородность содержания песчаных фракций и битума снижается. Однако по содержанию минерального порошка (частиц менее 0,071 мм) коэффициент вариации остается высоким, на уровне 32,6 %, что указано в табл. 3.

Таблица 3

Содержание компонентов и показатели однородности асфальтового гранулята после дробления и отсева

Показатели	Щебень 5-20	Песок	Минеральный порошок (<0,071 мм)	Битум (> 100 %)
Среднее содержание компонентов в выборке, %	4,5	83,1	12,4	7,18
Среднее квадратическое отклонение	0,98	2,84	4,05	0,79
Процент вариации, %	21,8	3,4	32,7	11,0

Повышение однородности асфальтового гранулята возможно за счет дальнейшего тонкого измельчения гранул, отсева и выделения составляющих материалов путем применения оборудования с комплексным силовым воздействием на материал. В качестве такого оборудования на АБЗ-4 «Капотня» использовались аппарат электромагнитного измельчения и специальный гранулятор зарубежного производства.

В тоже время, при применении асфальтового гранулята наблюдается снижение технологических характеристик литой смеси. Для улучшения технологичности в смесь вводятся дефлегматоры – добавки, снижающие вязкость. Применение дефлегматоров позволяет сделать смесь удобоукладываемой, без заметного снижения прочности, а также уменьшить температуру нагрева, расход топлива и количество вредных выбросов в атмосферу. В настоящее время разработан ряд технологий с использованием таких добавок, обеспечивающих снижение температуры приготовления и укладки асфальтобетонных смесей без ухудшения прочностных характеристик покрытия [4-8]. В последнее время наиболее распространение получили добавки Sasobit, Lacomont BS100, AsphaltanB [9]. Добавка Sasobit – синтетический парафиновый воск, полученный путем газификации угля или природного газа (метана). Sasobit использовался в виде гранул или

порошка в мешках по 2,5 или 20 кг. При температуре выше 120°C Sasobit полностью растворяется в битуме [4].

Опытно-экспериментальные работы

На АБЗ-4 «Капотня» (Москва) были выполнены опытно-экспериментальные работы по оценке влияния добавки Sasobit на технологические свойства литых асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием асфальтобетонного гранулята при различных температурах. Для проведения опытно-экспериментальных работ была выбрана литая асфальтобетонная смесь V типа по ТУ 5718002-04000633-2006, поскольку в настоящее время именно эта смесь наиболее часто используется для аварийного ремонта в городских условиях. В ходе опытно-экспериментальных работ были использованы четыре состава литых асфальтобетонных смесей. Для подбора оптимального состава было сделано несколько серий составов, представленных в табл. 4 с последующим определением основных физико-механических показателей.

Таблица 4

Составы литых асфальтобетонных смесей

№ п/п	Наименование материала	Состав № 1 (контрольный)			Состав № 2 (30 % гранулята)			Состав № 3 (0,3 % Sasobit от массы вяжущего)			Состав № 4 (30 % гранулята + 0,3 % Sasobit от массы вяжущего)		
		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
		Вяжущее сверх 100 %											
1	Гранулят мин. часть	0	0	0	30	30	30	0	0	0	30	30	30
2	Щебень	45	45	45	30	30	30	45	45	45	30	30	30
3	Песок	33	33	33	18	18	18	33	33	33	18	18	18
4	Минеральный порошок	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
5	Битум	7	9	11	5,5	7,5	9,5	6,979	8,973	10,967	5,479	7,473	9,467
6	Вторичный битум из гранулята	0	0	0	1,5	1,5	1,5	0	0	0	1,5	1,5	1,5
7	Sasobit	0	0	0	0	0	0	0,021	0,027	0,033	0,021	0,027	0,033
Всего вяжущего, %		7	9	11	7	9	11	7	9	11	7	9	11

Первый состав литой асфальтобетонной смеси V-типа приготовленный при стандартной температуре 200°C, полностью состоял из новых материалов (песок, щебень, минеральный порошок) и нового вяжущего (БНД 60/90) в количестве 7,9 и 11 %. Второй состав также приготавливался при стандартной температуре, но наряду с новыми материалами использовалось 30 % асфальтового гранулята. В третий состав вводилась добавка Sasobit в количестве 0,3 %, после чего отдозированные компоненты тщательно перемешивались. В смесях, приготовленных по четвертому составу, применялся 30 % асфальтового гранулята и добавка Sasobit в количестве 0,3 % от количества битума.

Для сравнительных испытаний при выборе оптимального состава в качестве основных показателей свойств литого асфальтобетона определяли подвижность смеси и глубину вдавливания штампа. Результаты испытаний, приведенные в табл. 5 показали эффективность совместного применения асфальтового гранулята в количестве 30 % и добавки Sasobit в количестве 0,3 % от массы битума при приготовлении литых асфальтобетонных смесей.

Таблица 5

Физико-механические показатели литых асфальтобетонных смесей

Составы	Состав № 1 (контрольный)			Состав № 2 (30 % гранулята)			Состав № 3 (0,3 % Sasobit от массы вяжущего)			Состав № 4 (30 % гранулята + 0,3 % Sasobit от массы вяжущего)			Требования ТУ 5718-002-04000633- 2006	
	7	9	11	7	9	11	7	9	11	7	9	11		
Содержание вяжущего, %	7	9	11	7	9	11	7	9	11	7	9	11	0	0,5
Водонасыщение, % по объему	0,5	0,2	0,1	0,6	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0	0,5
Подвижность смеси при 200, мм	5	35	42	2	28	37	10	42	48	8	37	44	0	30
Глубина вдавливания штампа при температуре 40, мм	4,5	7,2	11	1,7	4,1	6,4	5	8,2	13	2,9	5,1	7,9	1	10

На основании проведенного испытания, было выявлено минимальное количество вяжущего и добавки, при которой обеспечивается требуемая подвижность смеси. Как видно из табл. 5 смеси с модификатором Sasobit для обеспечения требуемой подвижности требуют меньшего количества вяжущего, что дает возможность не только улучшить удобоукладываемость, но и уменьшить глубину вдавливания штампа. Перед испытанием на глубину вдавливания штампа, образцы в форме были помещены в сосуд для термостатирования в течении 1,5 ч при температуре $+40\pm 2^\circ\text{C}$, после чего образец был помещен в термостатирующий сосуд прибора и подведен под шток. В течении всего испытания температура воды в термостатирующем сосуде поддерживалась $+40^\circ\text{C}$. Глубину вдавливания штампа (мм) определяли по шкале индикатора через 30 мин. действия нагрузки. Величина нагрузки составляла 52,5 кг. Проведенные испытания показали, что с увеличением количества вяжущего, возрастает величина деформации. Из табл. 5 видно, что наилучшие результаты по показателю глубина вдавливания штампа были получены у смесей с добавлением гранулята. По величине показателя водонасыщение, также можно судить о технологичности смеси, чем меньше водонасыщение, тем подвижнее (технологичнее) смесь.

Выполненные экономические расчеты показали, что применение 30 % в составе литых асфальтобетонных смесей асфальтового гранулята дает экономический эффект в размере 180-190 руб. на 1 т смеси. В тоже время, применение технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением асфальтового гранулята и добавки Sasobit, позволяет сэкономить на энергозатратах до 15 %, что дает экономический эффект в размере 20 руб., на 1 т. смеси при работе смесительной установки на природном газе.

Благодаря пластифицирующему эффекту от применения модификатора Sasobit в ряде случаев возможно снижение температуры выпускаемой смеси на 20-30 $^\circ\text{C}$, что способствует снижению выбросов загрязняющих веществ до 10 %. Снижение выбросов пока слабо отражается на размере платежей, однако в связи с ужесточением экологических требований эти платежи могут стать более существенными.

Заключение

1. Экспериментально установлено положительное влияние асфальтового гранулята совместно с парафиновой добавкой Sasobit на свойства литого асфальтобетона. Введение добавки Sasobit в количестве 0,3 % от массы битума с одновременным введением асфальтового гранулята позволяет улучшить физико-механические свойства асфальтобетона, снизить температуру приготовления смеси на 20 $^\circ\text{C}$.

2. Предложена технология приготовления литых асфальтобетонных смесей с добавлением асфальтового гранулята, обеспечивающая требуемые свойства литого асфальтобетона при снижении температуры приготовления и укладки асфальтобетонной

смеси. Данная технология предусматривает совместное введение в состав литой асфальтобетонной смеси 30 % асфальтового гранулята и парафиновой добавки Sasobit в количестве 0,3 % от массы битумного вяжущего.

3. Введение измельченного асфальтового гранулята в состав литого асфальтобетона повышает его прочностные характеристики и обеспечивает существенный экономический эффект. Экономия за счет снижения содержания сырья и от уменьшения энергозатрат составляет порядка 200 руб. на 1 т. смеси.

Список библиографических ссылок

1. The Mastic Asphalt Industry – A Global Perspective Final version EMAA / HSEE Working Group, November. № 210. 29 p.
2. Мелик-Багдасаров М. С., Мелик-Багдасарова Н. А. Использование асфальтобетонного гранулята в литых асфальтобетонных смесях // Строительная техника и технологии. 2016. № 5. С. 54–55.
3. Лупанов А. П., Силкин В. В. Измельчение старого асфальтобетона // Строительная техника и технологии. 2015. № 1. С. 42–44.
4. Крупин Н. В. Теплый асфальтобетон. Экскурс в развитие технологии // Технический вестник дорожного хозяйства. 2012. № 3. С. 64–74.
5. Силкин В. В., Лупанов А. П., Васильев Э. Ю. и др. Приготовление теплых асфальтобетонных смесей // Строительная техника и технологии. 2013. № 7. С. 62–64.
6. Траутвайн А. И., Языкина В. В., Землякова Д. В. Влияние добавок EVOTHERM, АЗОЛ 1007 и АДГЕЗОЛ 3-ТД на свойства битума // Дороги и мосты. 2014. № 1. С. 225–238.
7. Austerman A. J., Mogawer W. S., and Bonaquist R. Evaluating the Effects of Warm Mix Asphalt Technology Additive Dosages on the Workability and Durability of Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Pavement // Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. 2009. Paper № 09-1279.
8. Bennet T., Reinke G., Mogawer W., and Mooney K. Assessment of Workability, Compactability of Warm Mix Asphalt // Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. 2010. Paper № 10-2223.
9. Jamshidi A., Meor O. H., Mohamad Y. A. Effects of Sasobit Content on the Rheological Characteristics of Unaged and Aged Asphalt Binders at High and Intermediate Temperatures // Materials Research. 2012. № 15 (4). P. 628–638.
10. Carmen Rubio M., German Marinez, Luia Baena, Fernando Moreno. Warm mix asphalt: an overview // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 24. P. 76–84.

Lupanov Andrey Pavlovich

doctor of technical sciences, professor, general director

E-mail: abz4@abz4.ru

JSC ABZ-4 «Капотня»

The of organization address: 109429, Russia, Moscow, Verhnie polya st., 54

Sukhanov Alexey Sergeievich

candidate of technical sciences, general director

E-mail: dorexpert@yandex.ru

LLC «Dorexpert»

The of organization address: 109429, Russia, Moscow, Verhnie polya st., 54, 1

Silkin Vyacheslav Vasilyevich

candidate of technical sciences, professor

E-mail: vsilkin@mail.ru

Kozikov Igor Olegovich

post-graduate student

E-mail: i-kozikov@mail.ru

Moscow State Automobile and Road Technical University

The of organization address: 125319, Russia, Moscow, Leningardsky pr., 64

Irina Olga Nikolaevna

candidate of technical sciences, associated professor

E-mail: ilina@kgasu.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The of organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Investigation of the influence of asphalt granulate
on the properties of cast asphalt concrete****Abstract**

Problem statement. The goal of the study was in researching the effect of asphalt granulate and additive «Sasobit» on the properties of the cast asphalt mixtures.

Results. The main results of the study are improving the physical and mechanical properties of cast asphalt concrete while reducing the manufacturing asphalt mix temperature and asphalt concrete mixtures patching temperature at 20°C, at the expense of the adding of old asphalt granulate and additives «Sasobit» in the amount of 0,3 % the addition of asphalt granulate and additives «Sasobit» in the amount of 0,3 %

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is to ensure the quality of the production of cast asphalt mixtures while reducing their cost, in creating conditions for increasing the production of cast asphalt for the building, repair and reconstruction of roads.

Keywords: asphalt granulate, cast asphalt, asphalt-concrete plant, cast asphalt mixtures, bitumen, depth of pressing-in of indent, water saturation, slump hot-molded mixture, economic efficiency.

References

1. The Mastic Asphalt Industry – A Global Perspective Final version EMAA / HSEE Working Group, November. № 210. 29 p.
2. Melik-Bagdasarov M. S., Melik-Bagdasarova N. A. Usage of old asphalt concrete granulate in cast asphalt concrete mixes // Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2016. № 5. P. 54–55.
3. Lupanov A. P., Silkin, V. V. Grinding of old asphalt concrete // Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2015. № 1. P. 42–44.
4. Krupin N. In. Warm asphalt. Review of the development of technology // Tekhnicheskiy vestnik dorozhnogo khozyaystva. 2012. № 3. P. 64–74.
5. Silkin, V. V., Lupanov A. P., Vasiliev J. E. Preparation of warm asphalt mixtures // Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2013. № 7. P. 62–64.
6. Trautwein A. I., Yadykina V. V., Zemlyakova D. V. Influence of additives EVOTHERM, AZOL 1007 and ADESOL S-TD on the properties of bitumen // Dorogi i mosty. 2014. № 1. P. 225–238.
7. Austerman A. J., Mogawer W. S., Bonaquist R. Evaluating the Effects of Warm Mix Asphalt Technology Additive Dosages on the Workability and Durability of Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Pavement // Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. 2009. Paper № 09-1279.
8. Bennet T., Reinke G., Mogawer W., and Mooney K. Assessment of Workability, Compactability of Warm Mix Asphalt // Transportation Research Board of the National Academies, Washington. D.C. 2010. Paper № 10-2223.
9. Jamshidi A., Meor O. H., Mohamad Y. A. Effects of Sasobit Content on the Rheological Characteristics of Unaged and Aged Asphalt Binders at High and Intermediate Temperatures // Materials Research. 2012. № 15 (4). P. 628–638.
10. Carmen Rubio M., German Martinez, Luia Baena, Fernando Moreno. Warm mix asphalt: an overview // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 24. P. 76–84.