



УДК 625.768:692.4

Лупанов Андрей Павлович

доктор технических наук, профессор, генеральный директор

E-mail: abz4@abz4.ru

АО «АБЗ Капотня»

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

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 пр-т, 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 свойств асфальтобетонных смесей
с использованием отходов мягкой кровли
для строительства и ремонта автомобильных дорог и городских улиц**

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определить свойства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли в составе.

Результаты. Установлено, что введение отходов мягкой кровли в количестве 2 % позволяет обеспечить требования к асфальтобетону в соответствии с ГОСТ 9128. Основные результаты исследования состоят в разработке и внедрении технологических схем приготовления асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обеспечении качества производства асфальтобетонных смесей при снижении их стоимости и утилизации отходов мягкой кровли при строительстве и ремонте автомобильных дорог и городских улиц.

Ключевые слова: асфальтобетонный завод, асфальтобетонные смеси, битум, отходы мягкой кровли, автомобильные дороги, городские улицы.

Введение

В соответствии с указом президента Российской Федерации № 176 от 19.04.2017 утверждена новая стратегия экономической безопасности РФ до 2025 года. Данная стратегия определяет основные важные сферы обеспечения безопасности Российской Федерации, которые, в частности, отражаются в эффективном использовании природных ресурсов, повышение уровня утилизации отходов производства и потребления.

Выполнение Указа Президента в дорожном строительстве возможно путем максимально широкого использования вторичных материальных ресурсов (при соответствующем технико-экономическом обосновании) взамен традиционных материалов, используемых для приготовления горячих асфальтобетонных смесей.

К числу таких вторичных ресурсов следует отнести отходы мягкой кровли, используемые для частичной замены битума, стоимость которого в составе асфальтобетонных смесей постоянно повышается в виду увеличения стоимости энергоресурсов и транспорта [1].

Источником получения жидкого битума для приготовления асфальтобетонной смеси может быть переработка отходов мягкой кровли, образующихся при сносе, реконструкции и ремонте зданий и сооружений.

Материал, получаемый при переработке отходов мягкой кровли, состоит из жидкого битума, фибры и волокнистых частиц. По данным ООО «Дорэксперт», содержания битума в отходах составляет 70 %, а фибры и волкистых частиц (слоуда, целлюлоза) – 30 %.

Утилизация отходов мягкой кровли при сносе зданий и сооружений остро стоит практически во всех регионах России. Срок хранения отходов мягкой кровли на свалках и полигонах составляет около 100 лет. Захоронение строительных отходов на полигонах и свалках оказывает негативное влияние на структуру и состояние почвы, а также может привести к загрязнению, прилегающей к свалке, территории [2, 3].

Проблема утилизации отходов мягкой кровли и их повторного использования остро стоит и за рубежом. В США ежегодно пропадает более 11 млн тонн битумной кровли. В последнее время в ряде штатов проводятся лабораторные и экспериментальные исследования с целью использования материалов из переработанной мягкой кровли для производства горячих асфальтобетонных смесей [4-10].

Экспериментальная часть по подбору состава и определению свойств асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли

В статье представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных в России ООО «Дорэксперт» (г. Москва) на базе АО «АБЗ Капотня» (г. Москва) по изучению влияния отходов мягкой кровли на свойства асфальтобетонных смесей. Для проведения опытно-экспериментальных работ были выбраны асфальтобетонные смеси по ГОСТ 9128 и отходы мягкой кровли по СП 17.13330.2011.

Решение задачи использования отходов мягкой кровли в составе асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям нормативно документов при снижении их стоимости, является экономически, экологически и технически целесообразным.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9128 ООО «Дорэксперт» были подобраны 2 состава асфальтобетонных смесей. Крупнозернистой КБ-1 (тип Б марка 1) и мелкозернистой МБ-1 (тип Б марка 1).

Контрольные составы асфальтобетонных смесей без применения отходов мягкой кровли приведены в табл. 1. Каменный материал предварительно просушивался и нагревался до температуры 160 °С, а битум, путем обезвоживания и нагрева, нагревался до той же температуры.

Таблица 1

Контрольные составы асфальтобетонных смесей

№ п/п	Компоненты асфальтобетонной смеси	Содержание компонентов, %	
		КБ-1	МБ-1
1	Щебень фракции 5/20 мм	29	45
2	Щебень фракции 20/40 мм	14	-
3	Песок средний $M_{кр}=2,41$	43	43
4	Минеральный порошок	14	12
5	Битум	4,7	4,6

При подборе составов с использованием отходов мягкой кровли часть битума в смеси была заменена на вторичный битум. Отходы мягкой кровли вначале смешивались в мешалке с рассчитанным количеством холодного песка. Содержание битума в смеси с отходами мягкой кровли соответствовало базовой (контрольной) смеси (табл. 1). Путем отмывки растворителем, с последующим разделением твердых отходов в центрифуге, было определено содержание битума в отходах мягкой кровли. Проведя камеральный анализ проведенных испытаний в лаборатории ООО «Дорэксперт», можно сделать вывод о содержании в испытанной пробе количества твердых частиц, которое составило порядка тридцати процентов, а количество битума – порядка семидесяти.

Свойства битума, находящегося в остатках мягкой кровли, по своим характеристикам близки к марке БН 90/10 по ГОСТ 6617.

Во время проведения на ООО «Дорэксперт» опытно-экспериментальных работ было подобрано оптимальное соотношение, при котором отходы мягкой кровли и

минимального количества холодного песка должны быть перемешаны с целью отсутствия слеживаемости в процессе хранения. Установлено, что оптимальное соотношение отходов кровли с песком 1:3. При введении большого количества отходов мягкой кровли непременно возрастает риск слеживаемости в штабеле при хранении. Также необходимо было скорректировать количество минерального порошка в асфальтобетонной смеси с учетом того, что частицы, находящиеся в отходах мягкой кровли, существенно снижают остаточную пористость, а при замене битума на вторичный (более вязкий) возможно увеличение показателя «прочность на сжатие».

Принятые окончательные варианты составов по количеству компонентов асфальтобетонных смесей КБ-1, МБ-1 представлены в табл. 2-3.

Таблица 2

**Принятые варианты состава асфальтобетонной смеси
с использованием отходов мягкой кровли КБ-1**

Компоненты асфальтобетонных смесей КБ-1		Вариант 1		Вариант 2		
		Вязущее сверх 100 %	Вязущее в 100 %	Вязущее сверх 100 %	Вязущее в 100 %	
Холодная составляющая смеси	Минеральный порошок, %	9,9	9,6	10,0	9,6	
	Песок холодный, %	5,9	5,7	3,0	2,9	
	Отходы кровли (ОК)	Твердая составляющая, %	0,6	0,6	0,3	0,3
		Жидкая (битумная) составляющая, %	1,4	1,3	0,7	0,7
Всего, %		2,0	1,9	1,0	1,0	
Горячая составляющая смеси	Песок, %	39,7	38,6	43,2	41,5	
	Щебень фр. (5/20 + 20/40), %	42,5	41,1	42,8	41,2	
	Битум БНД 60/90, %	3,3	3,2	4,0	3,8	
Всего вязущего в смеси, %		4,7	4,5	4,7	4,5	

Таблица 3

**Принятый вариант состава асфальтобетонной смеси
с использованием отходов мягкой кровли МБ-1**

Компоненты асфальтобетонных смесей МБ-1		Вязущее сверх 100 %	Вязущее в 100 %	
Холодная составляющая смеси	Минеральный порошок, %	10,9	10,5	
	Песок холодный, %	3,0	2,9	
	Отходы кровли (ОК)	Твердая составляющая, %	0,3	0,3
		Жидкая (битумная) составляющая, %	0,7	0,7
Всего, %		1,0	1,0	
Горячая составляющая смеси	Песок, %	40,2	38,7	
	Щебень фр. (5/20), %	43,9	42,3	
	Битум БНД 60/90, %	3,8	3,7	
Всего вязущего в смеси, %		4,5	4,3	

Результаты выполненных в соответствии с требованиями ГОСТ 9128 испытаний для асфальтобетонных смесей КБ-1 (варианты 1; № 2) и МБ-1 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний состава асфальтобетонной смеси КБ-1 (2 варианта), МБ-1

№ п/п	Наименование показателя	Требования по ГОСТ 9128	Значение показателей		
			КБ-1 (I)	КБ-1 (II)	МБ-1
1	Средняя плотность образца асфальтобетона, г/см ³	не норм.	2,49	2,485	2,51
2	Пористость минеральной части, не более, % по объему	19	13,28	13,45	13,50
3	Остаточная пористость, % по объему	2,5-5,0	2,77	2,96	3,13
4	Водонасыщение, % по объему	1,5-4,0	1,7	1,98	2,54
5	Предел прочности при сжатии 20 °С, не менее, МПа	2,5	5,8	5,3	4,9
6	Предел прочности при сжатии 50 °С, не менее, МПа	1,2	1,7	1,3	1,5
7	Предел прочности при сжатии 0 °С, не менее, МПа	11,0	10,5	10,0	10,4
8	Коэффициент водостойкости, не менее	0,90	0,94	0,99	0,99
9	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,87	0,94	0,95
10	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	-	-	0,92
11	Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, не менее, МПа	0,37	-	-	0,45
12	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С и скорости деформации 50 мм/мин, МПа	3,5-6,0	-	-	5,1
13	Сцепление битума с минеральной частью асфальтобетонной смеси	ГОСТ 12801-98 не менее ¾ поверхности	-	-	Выдерживает

По результатам выполненных исследований разработаны рекомендации по технологии производства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли.

Рекомендации по технологии производства асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли

Основные параметры технологического процесса производства и выпуска готовой продукции в соответствии с техническими требованиями действующих нормативных документов обозначены в рекомендациях. Выпуск асфальтобетонных смесей с отходами мягкой кровли осуществляется в 2 этапа:

I производство смеси отходов с песком в бетоносмесительной установке;

II производство асфальтобетонной смеси с отходами мягкой кровли в асфальтосмесительной установке.

Технологический процесс производства смеси отходов мягкой кровли с песком включает в себя следующие операции:

- подача песка и отходов кровли в питающие бункеры;
- подача песка и отходов кровли на весовые дозаторы;
- дозирование материалов;
- перемешивание материалов до однородной массы;
- выгрузка смеси в автомобили-самосвалы;
- транспортировка смеси к месту хранения.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли включает следующие операции:

- приготовление битума;

- нагрев и высушивание минеральных материалов (щебня и песка);
- подачу смеси песка с отходами мягкой кровли в холодном виде через питатель;
- дозирование материалов-компонентов асфальтобетонной смеси;
- перемешивание отдозированных материалов;
- выгрузка готовой асфальтобетонной смеси;
- контроль качества продукции.

Изготовление вяжущего (битума) производится в котлах при температуре 130-150⁰С, соединенных между собой трубопроводом кольцевого типа. Данная рабочая температура в каждом из котлов не может поддерживаться более пяти часов. При кольцевом соединении трубопроводов также имеется устройство для приема вяжущего из битумовозов. При выходе вяжущее (битум) должно быть обезвожено. Параллельно соединенные котлы обеспечивают циркуляцию вяжущего (битума) на постоянной основе и способность к поочередной выработке в любом порядке.

Каменные материалы (щебень и песок) из штабелей открытого типа при помощи погрузочной техники или бульдозеров перемещаются в бункеры, из которых системой транспортеров в принятых соотношениях направляются в сушильный барабан асфальтосмесительной установки. В сушильном барабане каменные материалы (щебень и песок) просушиваются и нагреваются до рабочей температуры 150-180⁰С. Далее нагретые до рабочей температуры минеральные материалы подаются в горячий бункер асфальтосмесительной установки.

Для приготовления асфальтобетонной смеси каменные материалы из горячего бункера и минеральный порошок из расходной емкости подаются на дозирование, а затем из весовой бадьи поступают в смеситель в определенных пропорциях, в котором производится перемешивание нагретых ранее минеральных материалов со смесью отходов мягкой кровли и холодного песка, далее подается минеральный порошок. Впрыскивание битума производится после совместного перемешивания смеси с минеральным порошком, после дозировки битума насосом-дозатором производится повторное мокрое домешивание минеральной смеси с битумом. Общее время перемешивания составляет 45 секунд (сухое перемешивание – 5 секунд, перемешивание во время всprыскивания битума – 10 секунд и мокрое перемешивание вместе с отходами мягкой кровли – 30 секунд).

На основе подобранных составов асфальтобетонных смесей КБ-1, включающих отходы мягкой кровли, были построены опытные участки с асфальтобетонным покрытием общей площадью 5000 м². Результаты испытаний кернов опытных участков показали, что качество уложенных покрытий соответствует требованиям СП 78.13330.2012, а качество асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли соответствует требованиям ГОСТ 9128.

Проведенные экономические расчеты показали, что использование отходов кровли в составе горячих асфальтобетонных смесей позволяет снизить содержание в них дорогостоящих материалов, таких как битум и минеральный порошок. Снижения расхода этих материалов позволяет экономить порядка 40-50 руб. на 1 тонну асфальтобетонной смеси.

Заключение

1. Расширение сырьевой базы для производства асфальтобетонных смесей возможно обеспечить не только за счет оптимизации состава смесей, но и в результате вовлечения в производство отходов мягкой кровли.

2. Экспериментально установлено положительное влияние отходов мягкой кровли на свойства асфальтобетона. Введение измельченных отходов мягкой кровли в состав асфальтобетонных смесей в количестве до 2 % позволяет получить асфальтобетон, отвечающий требованиям ГОСТ 9128.

3. На основе подобранных составов горячих асфальтобетонных смесей, включающих отходы мягкой кровли, были построены опытные участки общей площадью 5000 м². По результатам испытаний установлено, что качество уложенного асфальтобетонного покрытия отвечает требованиям СП 78.13330.2012, а качество асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли отвечает требованиям ГОСТ 9128.

4. Предложенная технология приготовления горячих асфальтобетонных смесей с использованием отходов мягкой кровли представляет собой предварительное перемешивание смеси отходов мягкой кровли с холодным песком в соотношении 1:3, а также дробление крупных агрегатов смеси и подачу данной смеси через отдельный дозатор в горячие минеральные материалы асфальтосмесительной установки.

5. Практическое внедрение предложенной технологии позволило снизить расход дорогостоящих битума и минерального порошка, что экономит порядка 40-50 руб. на 1 тонну асфальтобетонной смеси и решает проблему утилизации отходов мягкой кровли.

Список библиографических ссылок

1. Лупанов А. П. Переработка асфальтобетона на АБЗ. М. : Экоинформ, 2012. 210 с.
2. Яковлев В. В., Асадулина З. У. Асфальтобетоны на битумном вяжущем, полученном из отходов ремонта кровель // Башкирский химический журнал. 2011. № 1. С. 49–52.
3. Яковлев В. В., Асадулина З. У. Механизм старения и пластификации вторичного битума гудроном // Строительные материалы. 2012. № 1. С. 51–53.
4. Nam BooHyun, Maherinia Hamid, Behzadan Amir H. Mechanical characterization of asphalt tear-off roofing shingles in Hot Mix Asphalt // Construction and Building Materials. 2014. № 50. P. 308–316.
5. Foxlow Jennifer J., Daniel Jo Sias. Swamy Aravind Krishna RAP or RAS? The Differences in Performance of HMA Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Reclaimed Asphalt Shingles // Asphalt Paving Technology. 2011. № 80. P. 347–376.
6. Sedhay Govinda, Fini Elham H., Abu-Lebdeh Taher. Investigating effects of amine based modifier on recycled asphalt shingles blending // American Journal of Engineering and Applied Science. 2014. № 7 (1). P. 105–114.
7. Асадулина З. У., Хасанова Л. Э. Зарубежный опыт использования кровельных отходов для асфальтобетонных смесей : сб. ст. Проблемы строительного комплекса России: Материалы XVI Международной конференции / УГНТУ. Уфа, 2012. С. 133–134.
8. Халиулина Л. Э. Вторичное использование отходов кровельных материалов и старого асфальтобетона в США и Канаде // Молодой ученый. 2018. № 50. С. 61–64.
9. Reynaldo Roque, Yu Yan, George Lopp. Impact of Recycled Asphalt Shingles (RAS) on Asphalt Binder Performance. Florida : University of Florida, 2018. 115 p.
10. Thomas David Farris IV. Evaluating the Contribution of Asphalt Binder from Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Concrete. Auburn : Auburn University, 2016. 110 p.

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

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 Automobile and Road Construction State 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

Research of the properties of asphalt mixers using soft roofing wastes for the construction and repair of automobile roads and city streets

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine the properties of asphalt mixtures using soft roof waste.

Results. The main results of the study are the development and implementation of technological schemes for the preparation of asphalt mixtures using soft roof waste. It was established that the introduction of soft roof waste in an amount of 2 % allows us to meet the requirements for asphalt concrete in accordance with GOST 9128.

Conclusions. The value of the obtained results to the construction industry is to ensure the quality of production of asphalt mixtures while reducing their cost and the disposal of soft roof wastes during the construction and repair of roads and city streets.

Keywords: asphalt-concrete plant, asphalt mixtures, bitumen, soft roof waste, roads, city streets.

References

1. Lupanov A. P., Recycling of asphalt concrete on ACpP. M. : Ekoinform, 2012. 210 p.
2. Yakovlev V. V., Asadullina Z. U. Asphaltic-cement on bitumen knitting, which is turning out from roofing waste // Bashkirskij himicheskij zhurnal. 2011. № 1. P. 49–52.
3. Yakovlev V. V., Asadullina Z. U. The mechanism of aging and plasticization of secondary bitumen with tar // Stroitel'nye materialy. 2012. № 1. P. 51–53.
4. Nam BooHyun, Maherinia Hamid, Behzadan Amir H. Mechanical characterization of asphalt tear-off roofing shingles in Hot Mix Asphalt // Construction and Building Materials. 2014. № 50. P. 308–316.
5. Foxlow Jennifer J., Daniel Jo Sias. Swamy Aravind Krishna RAP or RAS? The Differences in Performance of HMA Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Reclaimed Asphalt Shingles // Asphalt Paving Technology. 2011. № 80. P. 347–376.
6. Sedhay Govinda, Fini Elham H., Abu-Lebdeh Taher. Investigating effects of amine based modifier on recycled asphalt shingles blending // American Journal of Engineering and Applied Science. 2014. № 7 (1). P. 105–114.
7. Asadullina Z. U., Hasanova L. E. Foreign experience in the use of roofing waste for asphalt mixes : dig. of art. Problems of the construction complex of Russia: Materials of the XVI International Conference / UGNTU. Ufa, 2012. P. 133–134.
8. Haliulina L. E. Recycling of roofing materials and old asphalt concrete in the USA and Canada // Molodoj uchenyj. 2018. № 50. P. 61–64.
9. Reynaldo Roque, Yu Yan, George Lopp. Impact of Recycled Asphalt Shingles (RAS) on Asphalt Binder Performance. Florida : University of Florida, 2018. 115 p.
10. Thomas David Farris IV. Evaluating the Contribution of Asphalt Binder from Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Concrete. Auburn : Auburn University, 2016. 110 p.