

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

¹О.П. Филиппова, ¹С.З. Калаева, ¹Н.С. Яманина, ¹Н.Л. Маркелова

¹Ярославский государственный технический университет

Исследована возможность получения асфальтобетонной смеси с использованием в качестве наполнителя крупнотоннажных отходов машиностроительных производств – гальваношламов. Изучены свойства минерального наполнителя. Представлены основные прочностные характеристики полученных образцов асфальтобетона.

Ключевые слова: гальваношламы, асфальтобетон, предел прочности на сжатие

Статья поступила в редакцию 05.10.2020, доработана 12.11.2020, принята к публикации 08.02.2021

Study of the Possibility of Obtaining Asphalt Concrete with the Use of Waste from Engineering Industries

¹O.P. Filippova, ¹S.Z. Kalayeva, ¹N.S. Yamanina, ¹N.L. Markelova

¹Yaroslavl State Technical University, 150023 Yaroslavl, Russia

The possibility of obtaining an asphalt-concrete mixture with the use of large-tonnage wastes from machine-building industries – galvanic sludge – has been studied. The properties of the mineral filler have been studied. The main structural characteristics of the obtained asphalt concrete samples were presented.

Keywords: galvanic sludge, asphalt concrete, compressive strength

Received 05.10.2020, revised 12.11.2020, accepted for publication 08.02.2021

DOI: 10.18412/1816-0395-2021-4-34-37

Проблемы сохранения окружающей природной среды с каждым годом все более обостряются, причем их характер обретает глобальный масштаб. Поэтому главной задачей остается внедрение малоотходных экологически безопасных технологий и процессов утилизации промышленных отходов, снижающих антропогенную нагрузку на биосферу [1].

Гальваношламы представляют собой ценное вторичное сырье, так как содержат сме-

си гидроксидов тяжелых металлов в виде суспензии или пасты в зависимости от наличия обезвоживающих устройств на станции нейтрализации [2].

В настоящей работе предлагаются технологические решения использования гальваношламов для изготовления асфальтобетонных смесей. Авторы исследовали гальваношлам Ярославского завода дизельной аппаратуры, физико-химические характеристики которого представлены в табл. 1.

Из приведенного химического состава видно, что гальваношлам содержит небольшое количество веществ, растворимых в воде, а также обладает высоким содержанием соединений железа. Можно отметить присутствие и соединений других металлов, а именно кальция, хрома, цинка.

При анализе промежуточной стадии для приготовления асфальтобетонных смесей было решено в качестве минерального наполнителя использовать галь-

ваношлам, прокаленный при 600 °С. Минеральный наполнитель вводился в образцы, не полностью заменяя доломитовую муку (промышленный стандартный минеральный наполнитель), а частично по 1; 1,2; 1,8; 2 и 3 % от необходимой массовой доли наполнителя в смеси.

Для приготовления асфальтобетонной смеси исследовали следующий состав:

- песок — 78 %;
- минеральный наполнитель — 14 %;
- битум дорожный — 8 %.

Масса полученной смеси составляет 600 г. Из нее было изготовлено три образца.

При приготовлении асфальтобетонов существуют два способа введения наполнителя в смесь: либо непосредственно, при перемешивании компонентов, либо при приготовлении асфальтового вяжущего. Указанными двумя способами получили модельные образцы асфальтобетонов [3].

Образцы формировались при помощи прессы в стандартных цилиндрических формах диаметром 5 см. Из смеси каждого вида получали по два образца примерно одного размера.

За 2 ч до проведения эксперимента часть образцов помещали в морозильную камеру при температуре -18 °С. Далее их подвергали испытаниям на растяжение при осевом раскалывании, определяли предел прочности на растяжение при раскалывании по ГОСТ 12801-98. А оставшиеся образцы нагревали до температуры 20 °С и определяли предел прочности на сжатие по ГОСТ 12801-98. Были сделаны несколько цифровых фотографий образцов для определения площади поверхности, покрытой битумом. Далее по этим образцам определяли водонасыщение. Для этого образцы взвешивали и помещали в емкости с водопроводной водой. Через 24 ч их взвешивали и определяли

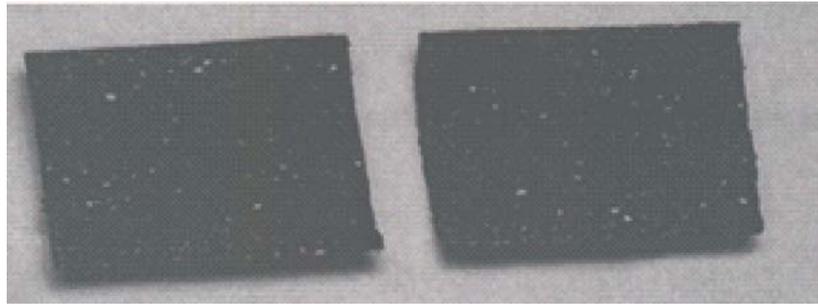


Рис. 1. Фотография образцов после раскалывания

Fig. 1. Photo of samples after splitting

водонасыщение по ГОСТ 12801-98 [3].

Результаты эксперимента обрабатывали по новой разработанной авторами методике. Для этого использовали фотографии полученной плоскости раскалывания образцов (рис. 1).

На каждом образце выделяли фрагмент так, чтобы его границы не выходили за границы изображения образца.

По доле черного цвета на фото можно судить о площади образца, покрытой битумом. Далее рассчитывали процентное содержание черного цвета и таким образом судили об однородности материала.

Для исследования прочностных характеристик асфальтобетонов также готовили несколько образцов. Для сравнения были приготовлены образцы с использованием в качестве минерального наполнителя доломитовой муки, без добавок отходов машиностроения (гальваношлама).

Образцы формировали при помощи прессы в стандартных цилиндрических формах диаметром 5 см, нагретых до 80 °С. Из смеси каждого вида получали по три образца примерно одного размера. В табл. 2 представлены характеристики модельных асфальтобетонных смесей.

Как видно из табл. 2, при добавлении гальваношлама в образцы основные показатели асфальтобетонов, а именно предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при раскалывании и водопоглощение, начинают расти с увеличением массовой доли наполнителя до 1,2 %, а при дальнейшем росте количества наполнителя начинают снижаться. Такое изменение показателей может быть связано с увеличением доли твердых частиц и невозможностью тщательного распределения наполнителя по всему объёму смеси. Поэтому для дальнейших испытаний, а именно снятия

Таблица 1. Физико-химические характеристики гальваношлама
Table 1. Physicochemical characteristics of galvanic sludge

Показатель	Гальваношлам
Потеря массы, %:	
при просушивании	74,8
при прокаливании	4,37
Содержание веществ, нерастворимых в соляной кислоте, %:	2,87
Fe ₂ O ₃	53
CaO	0,21
ZnO	2,41
Cr ₂ O ₃	2,5
Содержание веществ, растворённых в воде, %	0,66
Массовая доля воды по Дину-Старку, %	73,3

Таблица 2. Характеристики модельных асфальтобетонов при различном наполнителе
Table 2. Characteristics of model asphalt concrete with different aggregates

Показатель	ГОСТ №9128-13	Массовая доля наполнителя, %							
		Доломитовая мука	Гальваношлам						
			14	1	1,2	1,8	2	3	10
Предел прочности, МПа:									
на сжатие	> 2,5	4,67	4,98	5,03	4,96	4,72	4,68	3,91	3,49
на растяжение при раскалывании	> 2,5	4,53	4,71	4,76	4,74	4,58	4,52	3,67	3,37
Водонасыщение через 1 сут, %	1,0–2,5	1,90	2,47	2,24	2,10	2,02	1,83	1,79	1,84
Площадь поверхности, покрытой битумом, %	–	92,57	92,38	92,88	92,53	91,87	91,84	91,80	91,75

температурной кинетики, частично заменяли минеральный наполнитель на отход машиностроительного производства в количестве 1,2 %.

Свойства асфальтобетонов в сильной степени зависят от температурной обработки, поэтому было исследовано влияние температуры на прочностные характеристики асфальтобетонов. Сначала готовили песок. Для этого брали два сита с отверстиями диаметром 0,14 и 2,5 мм, составляли из них колонну и просеивали через нее песок. После этого для исследования брали среднюю фракцию. Далее готовили к анализу минеральный наполнитель — гальваношлам и доломитовую муку. Для этого измельчали его в фарфоровой ступке пестиком и просеивали через сито с отверстиями диаметром 100 мкм.

Введение наполнителя в битум: взвешивали в специально подготовленные баночки по 48 г битума (массовая доля битума 8 % от массы смеси). Образцы готовили с гальваношламом, прокаленным при 600 °С, и доломитовой мукой по четыре образца каждой серии. Массовая доля прокаленного гальваношлама составляла 1,2 % от массовой доли битума, а оставшиеся 13,8 % — доломитовая мука. Далее наполненные образцы помещали в муфельную печь, доведенную до температуры 150 °С, и выдерживали в течение 15, 30, 45 и 60 мин.

Ведение наполнителя в песок: взвешивали необходимое количество песка и минерального наполнителя на технических электронных весах и затем перемешивали в мельнице в течение 60 мин. В качестве наполнителя использовали

исходный гальваношлам, который еще не подвергался температурной обработке. В качестве стандартных образцов использовали смесь песка, прокаленного при заданных температурах, и доломитовой муки. Затем смесь помещали в муфельную печь для её температурной обработки. Смеси подвергали прокатке при 300, 600 и 900 °С в течение 1 ч. Затем оставляли остывать на сутки. По истечении суток в подготовленные баночки отбирали необходимое количество битума и нагревали его до размягчения. Далее в расплавленный битум всыпали смесь песка и минерального наполнителя. Все смеси тщательно перемешивали и оставляли примерно на сутки.

Для сравнения были приготовлены образцы с использованием в качестве минерального наполнителя доло-

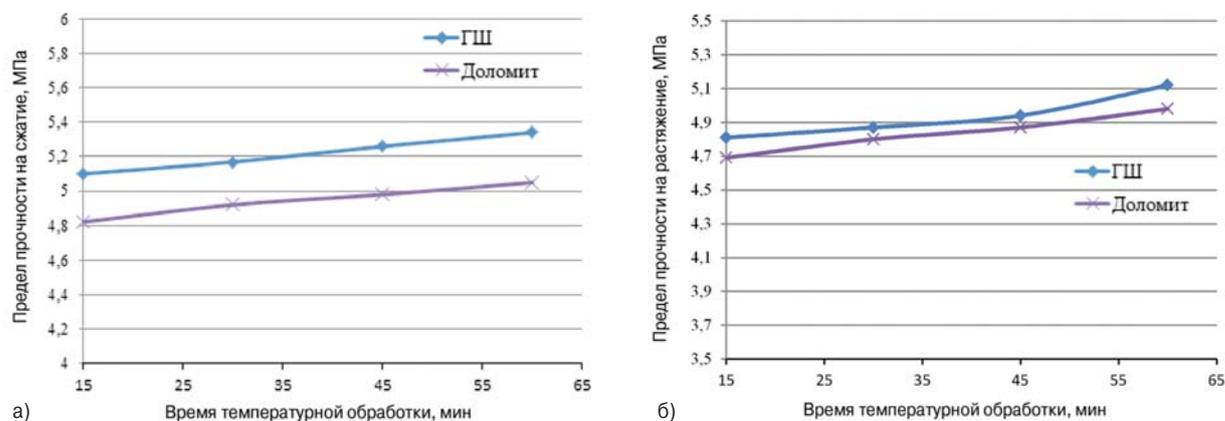


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие (а) и растяжение при раскалывании (б) от времени температурной обработки наполненного битумного материала

Fig. 2. Dependence of the ultimate compressive strength (a) and ultimate tension (b) on the duration of heat treatment of the filled bituminous material

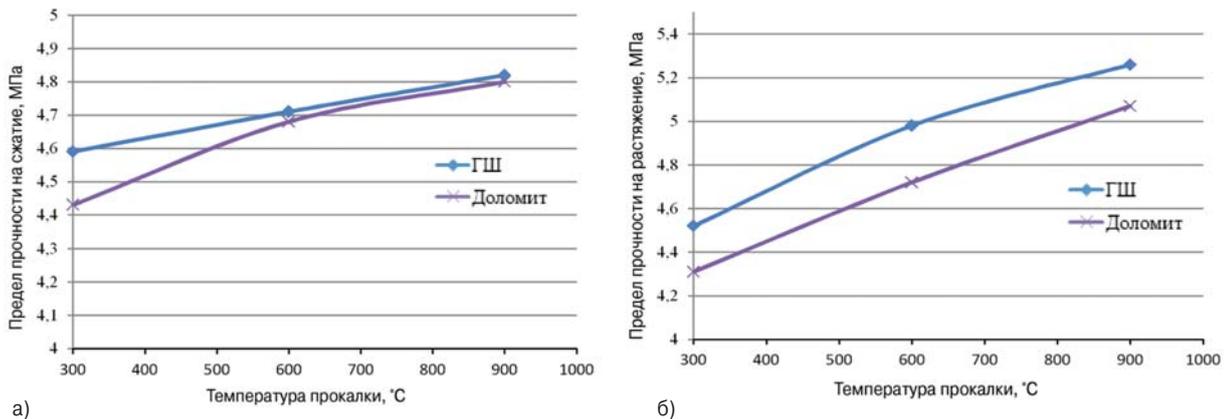


Рис. 3. Зависимость предела прочности на сжатие (а) и растяжение при раскалывании (б) от температуры прокалики минерально-песчаной смеси

Fig. 3. Dependence of the ultimate compressive strength (a) and ultimate tension (b) on the calcination temperature of the mineral-sand mixture

митовой муки, без добавок отходов машиностроения.

Из получившихся смесей формировали образцы при помощи прессы в стандартных цилиндрических формах диаметром 5 см, нагретых до 80 °С. Из смеси каждого вида получали по три образца примерно одного размера. На основании проведенных экспериментов строили графические зависимости основных показателей модельных асфальтобетонов — предела прочности на сжатие и предела прочности на растяжение при раскалывании — от времени температурной обработки наполненного битумного материала (рис. 2).

В результате проведенного эксперимента представлены кинетические зависимости

полученных образцов модельных асфальтобетонов от времени температурной обработки наполненного битумного материала (см. рис. 2), а также от температуры прокалики минерально-песчаной смеси (рис. 3). Установлено, что образцы, приготовленные с использованием гальваношлама, соответствуют требованиям ГОСТ №9128-13 и могут быть использованы для приготовления асфальтобетонных покрытий. Но, как видно из представленных графических зависимостей, образцы, приготовленные с использованием в качестве наполнителя гальваношлама, обладают лучшими технологическими характеристиками по сравнению со стандартными образцами, приготовлен-

ными с доломитовой мукой. Причиной данных изменений могут быть окислительные процессы в смеси, протекающие под действием гальваношлама.

Кроме того, заметно улучшаются технологические характеристики при увеличении продолжительности температурной обработки битумного материала и повышении температуры прокалики минерально-песчаной смеси.

Таким образом, внедрение предлагаемой технологии позволит решить не только экологические задачи, но и экономические, так как с использованием вторичного сырья снизится себестоимость покрытий при сохранении основных технических характеристик.

Литература

1. Соколов Э.М., Макаров В.М., Володин Н.И. Комплексная утилизация гальваношламов машиностроительных предприятий. Тула, ТулГУ, 2006. 264 с.
2. Бек Р.Ю. Воздействие гальванических производств на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба: аналитический обзор. Новосибирск, ГПНТБ СО АН СССР, 1991. 88 с.
3. [Электронный ресурс] URL: <http://www.npstc.ru/blog/obezvrezhivanie-i-utilizacija-galvanoshlamov-i-otrabotannyh-travilnyh-rastvorov> (дата обращения 17.09.2020).

References

1. Sokolov E.M., Makarov V.M., Volodin N.I. Kompleksnaya utilizatsiya gal'vanoshlamov mashinostroitel'nykh predpriyatii. Tula, TulGU, 2006. 264 s.
2. Bek R.Yu. Vozdeistvie gal'vanicheskikh proizvodstv na okruzhayushchuyu sredy i sposoby snizheniya nanosimogo ushcherba: analiticheskii obzor. Novosibirsk, GPNTB SO AN SSSR, 1991. 88 s.
3. [Elektronnyi resurs] URL: <http://www.npstc.ru/blog/obezvrezhivanie-i-utilizacija-galvanoshlamov-i-otrabotannyh-travilnyh-rastvorov> (data obrashcheniya 17.09.2020).

О.П. Филиппова – д-р техн. наук, профессор, Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ), e-mail: bonifak@yandex.ru • С.З. Калаева – канд. техн. наук, доцент, ЯГТУ, e-mail: kalaevasz@ystu.ru • Н.С. Яманина – канд. техн. наук, доцент, ЯГТУ, e-mail: ns_yamanina@mail.ru • Н.Л. Маркелова – канд. техн. наук, доцент, ЯГТУ, e-mail: gurylevanl@ystu.ru

O.P. Filippova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Yaroslavl State Technical University (YSTU), 150023 Yaroslavl, Russia, e-mail: bonifak@yandex.ru • S.Z. Kalayeva – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, YSTU, e-mail: kalaevasz@ystu.ru • N.S. Yamanina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, YSTU, e-mail: ns_yamanina@mail.ru • N.L. Markelova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, YSTU, e-mail: gurylevanl@ystu.ru