

УДК 625.8.06/07.001.4 (075.8)

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ФРЕЗЕРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА, БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ И ЦЕМЕНТА

Канд. техн. наук, доц. КРЛИЧКОВА Э., канд. техн. наук ГИЛИНГЕР Я.

Кошицкий технический университет (Словацкая Республика)

В Словакии существует необходимость постоянного поиска эффективных технологий ремонта асфальтобетонных покрытий. Ограниченность финансирования не позволяет выполнять ремонтные работы в требуемом объеме по традиционным технологиям. Этому же способствует отнесение дорог II и III категорий к региональным управлениям, которые не имеют достаточного финансирования для поддержания состояния автомобильных дорог на высоком техническом уровне. Одним из путей решения данной проблемы является регенерирование асфальтобетонных покрытий, т. е. обновление старого асфальтобетона, путем его фрезерования и улучшения состава за счет внесения органических и минеральных вяжущих с последующей укладкой и уплотнением регенерируемого материала (Р-материал).

Однако данный процесс имеет ограниченное применение из-за отсутствия технических рекомендаций. И поэтому возле смесительных установок скопились большие запасы фрезерованного материала, который можно применить в холодной технологии. Главными компонентами Р-материала являются: природный строительный камень, органическое вещество (битумная эмульсия, вспененный битум) вместе с гидравлическим вяжущим (цемент, известь).

Цель экспериментальных исследований – разработка практических рекомендаций для применения рецептур смесей, созданных на основе отфрезерованного материала (Р-материала). Предложены две смеси с различным содержанием Р-материала, улучшенные природным строительным камнем так, чтобы зерновой состав смеси находился в области оптимальной гранулометрии в соответствии с [1] (рис. 1) для верхнего слоя основания дорожной одежды.

В лабораторных условиях произведено уплотнение каменного материала по методу Проктора с целью установления оптимальной

влажности смеси. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

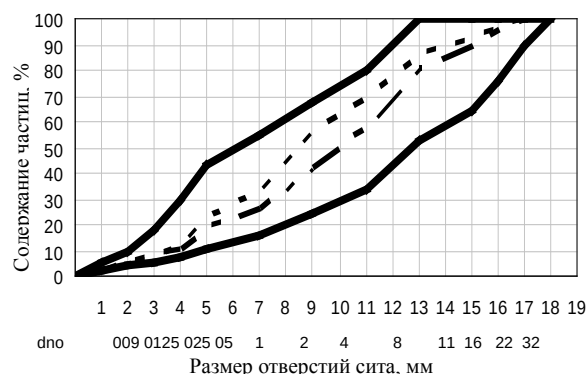


Рис. 1. Гранулометрический состав смесей: — · — — смесь А; - - - - смесь В; — — — граница оптимальных смесей

Таблица 1

Результаты лабораторного уплотнения смесей

№ смеси	Максимальная плотность смеси $\rho_{d \max}$, кг/м ³	Оптимальная влажность W_{opt} , %
1	2200	6,15
2	2190	4,90

Следующим этапом исследований явился процесс определения оптимального количества битумной эмульсии и цемента. Битумная эмульсия содержала до 60 % битума, а применяемый цемент соответствовал марке П/В S 32,5 R.

Состав смесей приведен в табл. 2.

Количество воды в смеси в зависимости от содержания каменного материала определялось по выражению

$$W_2 = W_{opt} - W_1 - W_B - 0,5A + 0,05C, \%,$$

где W_1 – естественная влажность каменного материала, %; W_B – количество воды в битумной эмульсии, %; W_{opt} – оптимальная влаж-

ность, определенная по методу Проктора, %; 0,5А – половина количества битума в эмульсии, %; 0,05С – количество воды, израсходованной на гидратацию цемента, %.

Таблица 2

Состав смесей

№ смеси	Состав смеси (% от объема)					
	Р-материал	Природный строительный камень (0–2 мм)	Минеральный порошок	Битумная эмульсия	Цемент	Вода
A1	80	14	6	2,0	1,5	4,8
A3	80	14	6	3,5	1,5	3,8
A4	80	14	6	2,0	3,0	4,9
A6	80	14	6	3,5	3,0	3,8
B1	60	40	–	3,0	1,5	3,0
B3	60	40	–	4,5	1,5	2,0
B4	60	40	–	3,0	3,0	3,1
B6	60	40	–	4,5	3,0	2,0

Для приготовления смесей исходные каменные материалы были высушены при температуре 105 °С ($W_1 = 0$).

Для определения физико-механических и деформационных характеристик образцов, изготовленных из разработанных рецептур смесей, были проведены испытания:

- стабильности, преобразования и жесткости (по Маршаллу);
- статического модуля ползучести $S_{(t)}$;
- комплексного модуля $E_{\text{ю}}^*$ (по Ф. Шлоссеру).

Для проведения испытания по Маршаллу были изготовлены образцы с уплотнением под нагрузкой, равной 75 кН [2]. Изготовленные образцы хранились в течение 28 суток при температуре 20–23 °С и влажности 40–50 %. Результаты испытаний, а также требования стандарта СТН 73 6121 [1] представлены в табл. 3.

На основании этих результатов сделаны следующие выводы:

- рецептура с содержанием 2 % эмульсии и 3 % цемента (рецептура А4) имеет наивысшие результаты по стабильности и жесткости;
- увеличение содержания эмульсии и уменьшение содержания цемента (рецептура А3) отражаются на высоких показателях по Маршаллу и уменьшении жесткости;
- отсутствие минерального порошка в смеси (рецептуры В1 и В6) отражается на стабильности и показателях по Маршаллу, снижая их.

Таблица 3

Результаты испытания образцов по Маршаллу

№ смеси	Стабильность по Маршаллу SM, кН	Преобразование по Маршаллу PM, 10^{-1} мм	Мера жесткости ТМ
A1	7,7	30,1	25,6
A3	7,3	31,3	23,3
A4	11,7	26,0	45,0
A6	8,6	27,3	32,2
B1	6,9	25,0	27,6
B3	7,8	28,3	27,6
B4	11,0	26,3	41,8
B6	9,6	24,0	40,0
СТН	min 5	15–40	–

Деформационные свойства были определены на образцах, имеющих форму усеченной пирамиды (сечение образцов вертикальной плоскостью имеет вид трапеции) (рис. 2). Трапециевидные образцы были изготовлены из прямоугольной пластины в соответствии с методикой изготовления образцов по Маршаллу. Сами испытания по определению деформационных свойств проведены при температуре 27 °С по методике, изложенной в [3]. Температура представляет собой расчетный показатель, учитывающий температуру слоев асфальтобетонных покрытий толщиной 20–25 см для летнего периода года в Словакии.

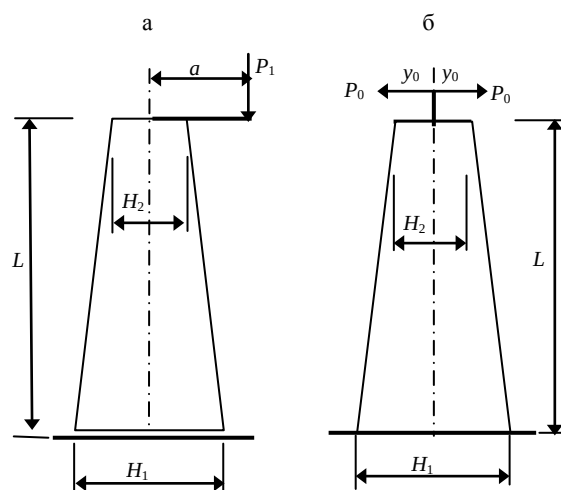


Рис. 2. Схемы определения реологических свойств образцов: а – испытание на изгиб (прогиб); б – испытание по достижению максимального изгиба

Образцы приклеивались основанием к прокладке, а на верхний свободный конец прикладывалась нагрузка (рис. 2а), которая создавала

изгибающий момент. Сначала был определен статический модуль ползучести, а затем – комплексный модуль. Модуль ползучести представляет собой отношение напряжения к временно переменной деформации под действием статической нагрузки в течение 1000 с. Значение статического модуля определяется по выражению

$$S_{i(t)} = \frac{6 P_1 a L^2}{y_t C H_1^2 H_2},$$

где P_1 – сила, Н; a – расстояние приложения силы от оси образца, мм; y_t – прогиб свободного конца образца, мм; C – толщина образца, мм; H_1 – ширина основания образца, мм; H_2 – ширина свободного конца образца, мм.

Измерение комплексного модуля выполнено при кратковременной переменной гармонической нагрузке. Выражаем модуль прочности через отношение напряжения к величине деформации, вызванной приложенным напряжением, а также фазовый угол запаздывания прогиба, зависящий от вязкости материала. Значения комплексного модуля (МПа) определяем из соотношений [5]:

$$E_1 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \cos \varphi + m \omega^2 \right);$$

$$E_2 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \sin \varphi \right);$$

$$E_{i\omega}^* = \sqrt{E_1^2 + E_2^2};$$

$$S = \frac{\delta_0}{\varepsilon_0} = |E_{i\omega}^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2};$$

$$\varphi = \arctg \frac{E_2}{E_1},$$

где $E_{i\omega}^*$ – комплексный модуль; E_1 – модуль упругости, характеризующий упругие свойства материала; E_2 – модуль, характеризующий вязкие свойства материала; y_0 – максимальная ве-

личина прогиба свободного конца образца, м; P_0 – усилие, приложенное к образцу до достижения максимальной величины прогиба (рис. 2б); φ – фазовый угол запаздывания прогиба, град; m – масса колеблющегося материала, кг; K_1 – коэффициент, зависящий от размеров и формы образца; c – толщина образца, мм; S – модуль прочности, МПа.

В табл. 4 приведены результаты измерений статического модуля ползучести $S_{i(t)}$ и комплексного модуля $E_{i\omega}^*$.

Таблица 4

Результаты определения статического модуля ползучести и комплексного модуля

№ смеси	Частота колебания, Гц	Статический модуль ползучести $S_{i(t)}$, МПа	Амплитуда прогиба y_0 через $t = 1000$ с	Комплексный модуль, МПа			Фазовый угол запаздывания, φ°	Удельное давление σ , кПа	Величина деформации ε_0 , м · 10 ⁻⁶
				E_1	E_2	$E_{i\omega}^* = S$			
A1	5,0	701,5	0,064	2081	574	2159	15,4	270	132,9
	10,0			2158	677	2262	17,9	280	129,2
	20,0			2072	1206	2404	28,6	300	137,4
A3	5,0	518,1	0,083	2490	719	2600	16,4	340	135,8
	10,0			3024	943	3169	17,3	380	128,8
	20,0			2988	1591	3402	28,6	410	121,6
A4	5,0	951,5	0,053	5312	716	5360	7,7	360	102,1
	10,0			5259	735	5310	7,9	360	61,7
	20,0			–	–	–	–	–	–
A6	5,0	636,3	0,054	2481	1034	2713	22,4	350	128,7
	10,0			2519	1316	2875	27,8	390	129,6
	20,0			2116	1785	2913	40,5	380	125,3
B1	5,0	518,1	0,083	3346	586	3397	9,9	280	95,3
	10,0			3370	574	3418	9,7	280	76,0
	20,0			3579	559	3623	8,7	290	52,6
B3	5,0	391,4	0,119	2047	581	2129	15,7	380	172,3
	10,0			1928	493	1991	13,9	540	180,5
	20,0			1664	799	1849	25,2	510	172,5
B4	5,0	994,7	0,039	4103	539	4138	7,5	320	94,1
	10,0			4110	583	4151	8,1	320	71,6
	20,0			4125	721	4188	9,9	320	43,9
B6	5,0	1148	0,093	5838	1024	5927	9,9	390	75,9
	10,0			5909	1042	6000	9,9	420	54,4
	20,0			7272	980	7338	7,7	380	31,5

Из табл. 4 видно, что наибольшие значения статического модуля ползучести соответствуют рецептурам с содержанием цемента, равным 3 %, лучше, чем с содержанием 1,5 %. Смеси имеют высокую прочность.

Значения комплексного модуля смеси E_{i0}^* с отфрезерованным материалом были большими у образцов с повышенным содержанием (80 %) Р-материала. Большинство смесей имеют значения, превышающие аналогичный показатель, полученный для смесей без добавления Р-материала (2000 МПа) [5]. Образцы с содержанием 3 % цемента имеют более высокую упругую составляющую E_1 комплексного модуля. Фазовый угол ϕ , который характеризует пластические свойства смеси, выше у образцов с содержанием Р-материала, равным 80 %, однако у образцов с содержанием 60 % этот показатель имеет удовлетворительные результаты.

Относительная деформация образцов, изготовленных из смеси с содержанием Р-материала в количестве 60 %, зависит от частоты (от 5 до 20 Гц) прикладываемого усилия и понижается с увеличением частоты более чем в два раза. Численные значения относительной деформации выше у образцов с содержанием Р-материала, равным 80 %, чем у образцов с содержанием 60 %.

ВЫВОД

Результаты испытания образцов, изготовленных из смесей, составленных из отфрезерованного материала, добавленного каменного материала, битумной эмульсии и цемента, свидетельствуют о том, что Р-материал может быть применим при регенерировании дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями. При выборе типа дорожной одежды и способов ее ремонта необходимо установить зависимость реологических показателей от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Stavba** vozoviek. Hutnené asfaltové vrstvy: STN 73 6121.
2. **Krličková, E.** Vplyv zhutňovacej práce na fyzikálno-mechanické vlastnosti za studena recyklovaných zmesí / E. Krličková. – Silniční obzor. – 2003. – S. 9–13.
3. **Schlosser, F.** Overovanie vlastností asfaltových konštrukčných vrstiev, habilitačná práca / F. Schlosser. – Žilina, 1988.
4. **Híreš, V.** Hodnotenie deformačných vlastností recyklovaných materiálov metódou E^* / V. Híreš // Zborník 7. – Brno: VUT, 1996. – S. 28–33.
5. **Skúšanie** cestných bitúmenových zmesí: STN 73 6160.

Поступила 15.11.2005