

Рис. 4. Распределение напряжений по сферическому сечению (5): а – нормальные напряжения  $\sigma_r$ ; б – касательные напряжения  $\tau_{r\theta}$

Только для изотропных материалов с коэффициентом поперечной деформации  $\mu = 0,5$  в сферическом сечении упруго-линейного полупространства будут отсутствовать растягивающие радиальные напряжения  $\sigma_r$ , а также касательные напряжения  $\tau_{r\theta}$ . В этом случае в сфе-

рическом сечении возникают только сжимающие радиальные напряжения, определяемые зависимостью (2). Среди грунтов с таким коэффициентом поперечной деформации можно назвать текучую глину.

#### ВЫВОД

В результате теоретических исследований получены зависимости для определения нормальных и касательных напряжений, возникающих в сферическом сечении полупространства, нагруженного на поверхности нормальной сосредоточенной силой. Показано, что выводы, приведенные в учебниках по механике грунтов, можно использовать только для изотропных материалов с коэффициентом поперечной деформации  $\mu = 0,5$ . В остальных случаях они дают недостаточно точные результаты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Цыгович, Н. А.** Механика грунтов / Н. А. Цыгович. – М.: Высш. шк., 1973. – 280 с.
2. **Бабков, В. Ф.** Основы грунтоведения и механики грунтов / В. Ф. Бабков, В. М. Безрук. – М.: Высш. шк., 1976. – 328 с.
3. **Рекач, В. Г.** Руководство к решению задач по теории упругости / В. Г. Рекач. – М.: Высш. шк., 1977. – 216 с.

Поступила 23.06.2006

УДК 625.764/765

## СКЛАДИРУЕМЫЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Инж. ИГОШКИНА А. Ю.*

*Филиал «Институт дорожных исследований»  
РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр»*

Несмотря на применение современных материалов и технологий при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий дорог, проблема устранения появляющихся на них де-

фектов и, как следствие, потребности в современных эффективных технологиях ямочного ремонта продолжает оставаться актуальной, являясь одним из факторов обеспечения

безопасности движения на автомобильных дорогах.

**Использование новых композиционных ремонтных материалов.** Для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог широко используются горячие асфальтобетонные и литые битумоминеральные смеси, которые, несмотря на удовлетворительные физико-механические показатели, имеют ряд недостатков: использование дорогостоящего оборудования для укладки (литые смеси), невозможность укладки материалов при достаточно низких температурах, короткий срок хранения смесей, необходимость извлечения литого асфальтобетона из ремонтной «карты» при устройстве поверхностной обработки.

Вопросы поиска эффективного состава и оценки степени слеживаемости холодных асфальтобетонных смесей привлекали и продолжают привлекать внимание исследователей [1, 2]. Современный российский опыт применения холодных смесей Мультигрейд [3], в основе которого лежит использование модифицированного вяжущего со структурой геля, обладающего ярко выраженными тиксотропными свойствами, показал стойкость таких смесей к избытку влаги, окислению и старению вяжущего, а также увеличенный срок службы ремонтного материала.

Альтернативой горячим литым битумоминеральным смесям являются холодные складированные органоминеральные смеси (СОМС) на основе модифицированного вяжущего, благодаря которому обеспечиваются удобоукладываемость смеси и ее лучшее уплотнение. Известно широкое использование добавки Sasobit за рубежом в качестве модификатора битумов для снижения температуры укладки горячих литых битумоминеральных смесей. Отсутствие отечественного практического опыта использования данных добавок в холодных ремонтных материалах стимулировало проведение исследований в филиале «Институт дорожных исследований» для разработки рецептурных составов складированных органоминеральных смесей.

Эти материалы представляют собой смесь битума, модифицированного добавкой Sasobit, пластификатора и минеральной части из мелкозернистых фракций (складированная органоминеральная смесь).

Процесс приготовления складированной органоминеральной смеси включает два этапа: 1-й этап – приготовление вяжущего, 2-й этап – приготовление смеси и затаривание.

Технологическая схема получения вяжущего представлена на рис. 1. СОМС готовят по традиционной технологии приготовления асфальтобетонных смесей в асфальтосмесительных установках.

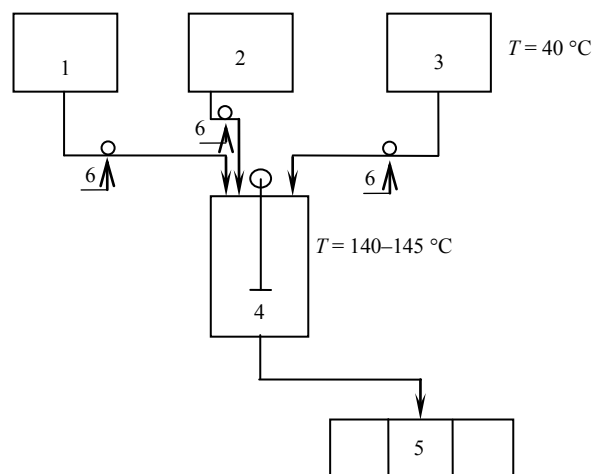


Рис. 1. Технологическая схема приготовления модифицированного вяжущего: 1 – емкость с пластификатором; 2 – с добавкой; 3 – с битумом; 4 – смесительная емкость с мешалкой; 5 – емкость с готовым специальным вяжущим; 6 – насосы-дозаторы

Проведенные исследования показали (табл. 1), что с увеличением содержания добавки Sasobit до 3 % температура размягчения вяжущего, модифицированного добавкой, по сравнению с базисным битумом возрастает на 36 °C, а показатель глубины проникания иглы уменьшается в 2 раза. Испытания образцов смеси (табл. 2) производили по СТБ 1115 [4]. Прочность при сжатии при температуре 20 °C определяли по истечении 1 сут. после прогрева при температуре 95 °C.

Анализ физико-механических характеристик (табл. 2, рис. 2), а также результаты экспериментальных исследований показали, что состав органоминеральной смеси с содержанием в базисном битуме модифицирующей добавки Sasobit в количестве 3 и 25 % пластификатора в смеси является оптимальным. Такая смесь быстрее набирает прочность, более удобоукладываемая. Состав с содержанием 1 % Sasobit и 15 % пластификатора рекомендуется для использования на производстве.

Таблица 1

## Результаты испытаний модифицированного вяжущего

Наименование показателя	Битум БНД 90/130	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 1 + пластификатор			Состав № 2 + пластификатор			Состав № 3 + пластификатор		
		БНД 90/130 99 % + Sasobit 1 %	БНД 90/130 98 % + Sasobit 2 %	БНД 90/130 97 % + Sasobit 3 %	15 %	20 %	25 %	15 %	20 %	25 %	15 %	20 %	25 %
Глубина проникания иглы при 25 °С, мм <sup>-1</sup>	96	79	62	49	183	250	341	282	336	До дна	306	До дна	До дна
Температура размягчения, °С	46	51	59	82	41/48	36/48	28/47	45/51	41/50	38/50	71/79	66/80	38/80
Растяжимость, см при 25 °С	>100	71	60	45	95	98	>100	86	91	>100	91	>100	>100
при 0 °С	5,2	2,6	1,8	1,0	28	44	66	26	32	48	38	66	40
Температура хрупкости, °С	-15	-12	-8	-6	-16	-20	-25	-18	-18	-20	-25	-26	-26

**Примечание.** В числителе указана температура размягчения до прогрева, в знаменателе – после прогрева (5 ч при температуре 90 °С).

Таблица 2

## Физико-механические показатели органоминеральной смеси

Наименование показателя	Состав № 1 с Sasobit при % пластификатора					Состав № 2 с Sasobit при % пластификатора					Состав № 3 с Sasobit при % пластификатора				
	15	17,5	20	22,5	25	15	17,5	20	22,5	25	15	17,5	20	22,5	25
Водонасыщение, % по объему	6,3	7,2	8,4	7,5	7,2	6,0	8,2	9,0	10,0	9,1	7,0	8,2	8,5	9,0	8,9
Набухание, % по объему	2,5	2,7	2,8	2,5	2,0	1,9	1,7	1,8	1,6	1,5	3,1	2,7	2,8	2,7	2,2
Предел прочности при сжатии после прогрева при температуре 20 °С, МПа	1,25	1,21	1,25	1,32	1,4	1,10	1,12	1,2	1,24	1,3	1,3	1,35	1,4	1,42	1,5
Слеживаемость, число ударов	6	7	6	3	4	7	8	7	5	5	9	7	9	6	8

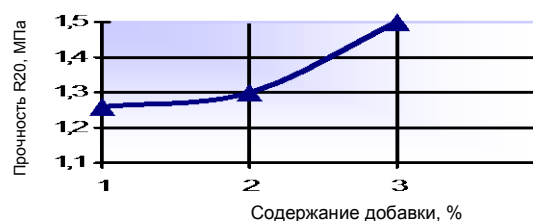


Рис. 2. Влияние процентного содержания модифицирующих добавок на прочность образцов из холодной складированной смеси

Технология производства ямочного ремонта с использованием таких смесей может производиться при температуре не ниже  $-10$  °С и позволяет исключать операцию грунтовки дна и стенок ремонтной «карты», а также пропускать транспорт сразу же после уплотнения ремонт-

ного материала. Вследствие тиксотропных свойств вяжущего в слое ремонтного материала между зернами каменного скелета образуется пленка, которая при повышении окружающей температуры воздуха обеспечивает прочность связи с ремонтируемой поверхностью, способствующую затягиванию возникающих микротрещин. Сразу же после фазы «жесткого» уплотнения виброплитой, в течение которой формируется каркасный минеральный скелет в ремонтном материале, начинается фаза «мягкого» формирования верхней части слоя под воздействием колес транспорта. Через некоторое время структура поверхности ремонтной «карты» начинает напоминать хорошо выполненную поверхностную обработку, а через 3–4 месяца структура отремонтированного участка

Таблица 3

Сравнительные показатели стоимости работ и затрат труда при применении различных материалов

Наименование показателя	Горячая а/б смесь (ТП-4)	Литая полужесткая а/б смесь (ТП-4)	Литая текучая а/б смесь (КДМ-150)	Асфальтогранулят (ПМ-107)	СОМС (виброплита)
Стоимость машин и механизмов в дол. на 100 м <sup>2</sup>	209,7	207,8	129,1	818,1	2,4
Затраты труда, чел.-ч на 100 м <sup>2</sup>	21,1	20,9	10,45	35,57	35,57
Стоимость материалов в дол. за 1 т	33,4	39,5	39,5	–	52

практически не отличима от многощелебнистых асфальтобетонов.

Опытно-экспериментальные работы, проведенные на участке автомобильной дороги М1/Е30, показали целесообразность использования данного материала при относительно мелком проценте дефектов покрытия (площадь выбоин – до 0,5 м<sup>2</sup>).

**Технико-экономическая перспектива целесообразности применения складированных органоминеральных смесей.** Не меньший интерес представляет собой экономический аспект сравнения традиционной и новой технологий (табл. 3, рис. 3).

Сравнительные показатели стоимости работ с применением различных смесей для ямочного ремонта (табл. 3, рис. 3) показывают, что применение энергосберегающей технологии укладки СОМС может дать значительный экономический эффект в части снижения стоимости эксплуатации машин и механизмов.

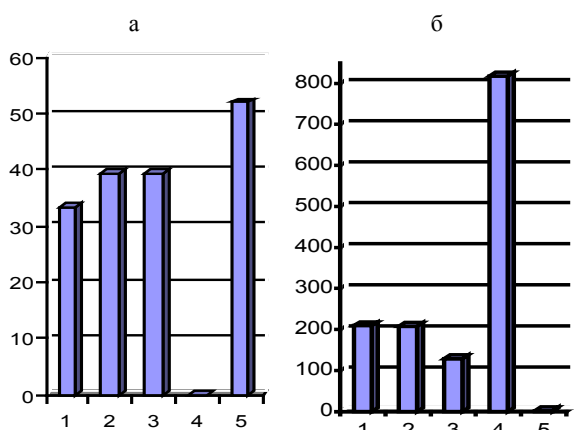


Рис. 3. Диаграммы сравнительной стоимости существующих и нового ремонтных материалов: а – стоимость работ на 1 т (дол. США) с учетом стоимости эксплуатации механизмов, затрат труда и стоимости материалов; б – стоимость эксплуатации машин и механизмов в расчете на 100 м<sup>2</sup> (дол. США); 1 – горячая а/б смесь; 2 – литая полужесткая а/б смесь; 3 – литая текучая а/б смесь; 4 – асфальтогранулят; 5 – СОМС

Фактический годовой экономический эффект от внедрения новой технологии ямочного

ремонта с применением складированных органоминеральных смесей может быть рассчитан по формуле

$$\Delta_r = (C_1 - C_2)A_r - E_n K_{доп}, \quad (1)$$

где  $A_r$  – годовой объем производства конкретного вида работ, м<sup>2</sup>;  $C_1$  и  $C_2$  – себестоимость единицы работ соответственно аналога и нового технического решения, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12;  $K_{доп}$  – дополнительные капитальные вложения на осуществление мероприятий нового решения, руб. ( $K_{доп} = 0$ ).

Для расчета экономической эффективности в качестве базового варианта приняты литые полужесткие асфальтобетонные смеси (табл. 4).

Таблица 4  
Используемые технологии для расчета экономического эффекта

Базовый вариант (БВ)	Новое решение (НР)
Ямочный ремонт литыми полужесткими асфальтобетонными смесями с использованием установки типа ТП-4	Ямочный ремонт складированными органоминеральными смесями

Сопоставление расчетных показателей по базовому варианту и новому решению приведены в табл. 5. В качестве базового варианта приняты литые полужесткие смеси как наиболее близкие по температурному режиму укладки (температура окружающего воздуха от –10 °С и выше).

Таблица 5

## Исходные данные для расчета экономической эффективности

Показатель	БВ	НР
Себестоимость работ на 100 м <sup>2</sup> в ценах на 12.2005 г.	1580994	1485692
Годовой объем работ, м <sup>2</sup>	1547	1547

Используя формулу (1), определим фактический годовой экономический эффект от внедрения новой технологии ямочного ремонта с применением складываемых органоминеральных смесей на 100 м<sup>2</sup> дорожного покрытия:

$\mathcal{E}_r = 1580994 - 1485692 = 95302$  руб. в ценах на декабрь 2005 г.;

$\mathcal{E}_r = 44,3$  дол. США.

## ВЫВОДЫ

1. Получен перспективный ремонтный материал, не требующий специального оборудования для его укладки, который отличается широким температурным диапазоном использования и тиксотропными свойствами. Это позволяет решать проблему предотвращения дефектов асфальтобетонного покрытия в весенне-зимний период года.

2. Сравнительная характеристика стоимости работ с применением различных смесей для ямочного ремонта показывает, что использование СОМС и энергосберегающей технологии ямочного ремонта может дать значительный экономический эффект за счет снижения стоимости эксплуатации используемых машин и механизмов.

3. Возможность длительного хранения и круглогодичное использование ремонтных смесей повышают безопасность дорожного движения, особенно в период оперативной ликвидации ямочности на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Козлова, Е. Н.** Холодный асфальтобетон / Е. Н. Козлова. – М.: Автотрансиздат, 1958. – 124 с.
2. **Дорожный асфальтобетон** / Л. Б. Гезенцевей [и др.]. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
3. **Поздняков, В. Р.** Опыт применения холодных смесей Мультигрейд для текущего и аварийного ямочного ремонта / В. Р. Поздняков // Дорожная техника-2006: каталог-справ. – М., 2006. – 270 с.
4. **Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон.** Методы испытаний: СТБ 1115–2004 / Минск, Министерство архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2004. – С. 12–15.

Поступила 25.10.2006