

DOI: 10.15593/24111678/2018.01.03

УДК 625.731

Д.Я. Белов, А.О. Добрынин, А.А. Минзуренко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Одними из самых важных показателей транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог являются ровность и шероховатость покрытия. Для обеспечения требуемого коэффициента сцепления необходимо предусматривать мероприятия, повышающие шероховатость покрытия автомобильной дороги. Для этого производят поверхностную обработку. В статье рассматриваются различные способы поверхностной обработки, в том числе зарубежный опыт. Технология обработки асфальтобетонных покрытий с целью увеличения сцепных характеристик появилась в середине XX в. Наиболее распространенными способами являются устройство слоя износа из щебеночно-мастичного асфальтобетона, устройство шероховатой поверхностной обработки с применением фракционированного щебня и вяжущего с отдельным распределением материалов. Данные способы обладают рядом ограничений по применению. Менее распространенными способами являются устройство шероховатой поверхностной обработки путем втапливания черного щебня в поверхность асфальтобетонного покрытия, устройство покрытия из песчано-резинобитумных смесей, устройство поверхностной обработки и тонких слоев износа с применением фиброволокна и др. Применение современной техники позволяет сократить технологический цикл и увеличить срок службы покрытий. Устройство шероховатой поверхностной обработки с синхронным распределением материалов по технологии «Чип Сил» обеспечивает высокую приживаемость каменных материалов на покрытии, снижение общего расхода материалов. Еще одним способом является устройство тонкослойных покрытий из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри Сил» («микросюрфейсинг»). Благодаря использованию эмульсионно-минеральных смесей, укладываемых в холодном состоянии, а также эмульсий с необходимыми добавками увеличиваются сроки строительного сезона. На основе проведенного обзора было выявлено, что технология «Сларри Сил» является наиболее перспективной для устройства микрошероховатых покрытий и поверхностной обработки.

Ключевые слова: поверхностная обработка, слой износа, автомобильная дорога, тонкослойные покрытия, «Сларри Сил», «Микросюрфейсинг».

D.Y. Belov, A.O. Dobrynin, A.A. Minzurenko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF EFFECTIVE WAYS OF THE DEVICE OF THIN LAYER COVERINGS AND SURFACE TREATMENT OF ROAD CLOTHES

One of the most important indicators of the transport-operational condition of highways are the smoothness and roughness of the coating. For providing the required coefficient of clutch it is necessary to provide the actions raising a highway covering roughness. For this purpose make surface treatment. In this article various modes of the device of surface treatment, including foreign experience are considered. The technology of processing of asphalt carpets for the purpose of increase in coupling characteristics appeared in the middle of the 20th century. The most widespread modes are the wear layer device from stone mastic asphalt, the device of rough surface treatment with use of the fractioned crushed stone and knitting with separate distribution of materials. These modes possess a number of restrictions on application. Less widespread modes are the device of rough surface treatment by an inundation of black crushed stone in a surface of an asphalt carpet, paving from mix of sand, bitumen and rubber, the device of surface treatment and thin layers of wear with application of a fiber and others. Use of the modern equipment allows to reduce a production cycle and to increase life cycle of coverings. The device of rough surface treatment with synchronous distribution of materials on "Chip Seal" technology provides high survival of stone materials on a covering, drop of the general consumption of materials. One more mode is the device of thin layer coverings from cast emulsion and mineral mixtures like "Slurry Seal" ("microsurfacing"). Thanks to the emulsion and mineral mixtures stacked in a cold state and also to use of emulsions with necessary additives, terms of a construction season increase. On the basis of the carried-out review it was found out that the "Slurry Seal" technology is the most perspective for the device of microrough coverings and surface treatment.

Keywords: surface treatment, wear layers, highway, thin layer coverings, "Slurry Seal", "Microsurfacing".

С конца 2016 г. вступил в силу приоритетный проект «Безопасные и качественные дороги», предусматривающий приведение в нормативное состояние улично-дорожной сети городов и уменьшение мест концентрации дорожно-транспортных происшествий. На территории г. Перми в рамках данного проекта введена программа комплексного развития транспортной инфраструктуры «Безопасные и качественные дороги Пермской городской агломерации».

Программой проведения работ по капитальному ремонту и ремонту с учетом соблюдения требований технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» планируется приведение в нормативное транспортно-эксплуатационное состояние по показателям ровности и наличия дефектов 85 % дорожной сети Пермской городской агломерации: планируется отремонтировать около 140 км автомобильных дорог ежегодно, из них около 10 % – это капитальный ремонт.

Для обеспечения продолжительного сохранения высоких показателей транспортно-эксплуатационного состояния дороги, таких как прочность дорожной одежды, ровность, шероховатость и сцепные качества покрытий, наиболее перспективным является устройство поверхностной обработки покрытия [1–3].

Наиболее распространенными типами поверхностной обработки являются:

1. **Устройство слоев износа из асфальтобетонной смеси типа ЩМА толщиной до 5 см** (рис. 1). Достоинствами такого метода выступают простота технологии, не требующая при-



Рис. 1. Устройство слоев износа из ЩМА (ремонт автомобильной дороги Пермь – Екатеринбург, 2015 г.)

менения специализированного оборудования, а также температурный режим окружающего воздуха при +5 °С весной, +10 °С осенью. Недостатком данной технологии является строгое соблюдение технологии укладки, в частности, температуры укладки, применение на участках, находящихся в непосредственной близости от стационарных АБЗ, в радиусе 50 км, либо использование мобильных АБЗ для приготовления смеси с целью устройства слоев износа на участках, находящихся на значительном удалении от дорожно-строительных баз [4, 5].

2. **Устройство шероховатой поверхностной обработки с применением фракционированного щебня и битума с отдельным распределением материалов** (рис. 2). Достоинствами такой технологии является простота технологии устройства, не требующая применения специализированного



Рис. 2. Устройство шероховатой поверхностной обработки с применением битума и щебня с отдельным распределением материалов

оборудования (для распределения щебня используется щебнераспределитель), достаточно низкие затраты на устройство, возможность применения на участках, значительно удаленных от мест дислокации дорожных баз [6]. Недостатками такого метода являются жесткие ограничения по температуре окружающего воздуха – не ниже +15 °С, а также введение ограничения скоростного режима на участке устройства поверхностной обработки, связанное с временем «приживаемости» щебня на покрытии, при этом возникает необходимость в содержании покрытия путем сметания незакрепившихся зерен. Для увеличения приживаемости щебня на покрытии применяется черный щебень, а для увеличения периода, в течение которого возможно производство работ, – катионные битумные эмульсии, в этом случае температура воздуха при укладке не ниже +5 °С [7].

3. *Устройство шероховатой поверхностной обработки с синхронным распределением материалов по технологии «Чип Сил»* (рис. 3, 4). Достоинствами данной технологии являются снижение количества технологических операций и применяемой техники по сравнению с традиционной технологией, уменьшение технологического цикла устройства ШПО, высокая приживаемость каменных материалов на покрытии, снижение общего расхода материалов [8, 9]. Недостатком данного способа является применение специализированного оборудования – машины для синхронного распределения материалов (чипсилера) [10].

4. *Устройство шероховатой поверхностной обработки путем втапливания черного щебня в поверхность асфальтобетонного покрытия.* Одним из высокоэффективных и экономичных способов создания прочного, шероховатого и износостойкого слоя, особенно на дорогах с интенсивным движением грузовых автомобилей и автомобилей с шипами, является способ втапливания щебня.

Щебень, который втапливают в асфальтобетонную смесь, должен быть приготовлен из прочных (I–II класса прочности) износостойких и малошлифующихся изверженных и метаморфических горных пород или аналогичных им по качеству шлаков. Используется одномерный щебень размерами 10–15, 15–20 или 20–25 мм, обработанный битумом с расходом 1–1,3 % от массы щебня.

Обработка щебня вяжущим осуществляется в асфальтобетонном смесителе при температурах 140–170 °С при использовании битумов БНД 60/90 и БНД 90/130. Вяжущее должно полностью обволакивать щебень и не стекать с него. Целесообразно осуществлять обработку щебня вспененным битумом. Для повышения сцепления вяжущего с щебнем используются ПАВ.



Рис. 3. Устройство шероховатой поверхностной обработки с применением битума и черного щебня с синхронным распределением материалов по технологии «Чип Сил» (ремонт улицы в г. Челябинске, 2015 г.)



Рис. 4. Устройство шероховатой поверхностной обработки с применением битумной эмульсии и мытого щебня с синхронным распределением материалов по технологии «Чип Сил» (ремонт автомобильной дороги Пермь – Екатеринбург, 2015 год)

Лучшие результаты по качеству шероховатого слоя достигаются при втапливании горячего черного щебня в горячий асфальтобетон. Такая технология возможна при наличии одного смесителя для синхронного приготовления черного щебня и другого смесителя для приготовления асфальтобетона. Возможно втапливание холодного черного щебня в горячий асфальтобетон, при этом щебень должен обрабатываться вяжущим заблаговременно.

Данный метод достаточно трудоемкий, требующий предварительного устройства асфальтобетонных покрытий типа В (малощебенистых), Г, Д (песчаных смесей). В данный момент практически не применяется, в силу трудоемкости.

5. Устройство слоя износа из песчано-резино-битумных смесей. Преимуществом смесей является то, что на дорогах, при укладке которых использовалась резиновая крошка для асфальта, значительно снижается аварийность. При этом удается добиться значительного повышения эксплуатационных характеристик дорожного полотна, например снижения шумности дороги и уменьшения износа покрышек автомобилей. Однако надежность и долговечность поверхностной обработки не позволяет ее использовать на дорогах с высокой интенсивностью движения.

6. Устройство поверхностной обработки и тонких слоев износа с применением фиброволокна. Применение фиброволокон рекомендуется при фактической интенсивности движения свыше 6000 транспортных средств в сутки.

На подготовительном этапе осуществляется очистка нижележащего покрытия от пыли и грязи, ямочный ремонт, заделка трещин и т.п. Покрытие устраивают на сухом, чистом и непромерзшем покрытии (или основании). За три-пять часов до начала укладки смеси поверхность покрытия обрабатывают битумной эмульсией, вязким разжиженным битумом или жидким битумом [11].

Все виды шероховатых поверхностных слоев с применением различных видов фиброволокон являются защитными слоями и применяются в качестве фрикционного и гидроизоляционного слоя износа для увеличения срока службы существующих дорожных покрытий, повышения их ровности и улучшения условий движения.

7. Поверхностные обработки с полимерным вяжущим. Полимерные вяжущие позволяют создавать прочный водонепроницаемый шероховатый слой поверхностной обработки и тем самым увеличивать срок службы ее и покрытия, на которое она уложена. Из-за высокой стоимости полимерные вяжущие пока широко не применяются для строительства покрытий, но нашли применение для защитных слоев и слоев износа по способу поверхностной обработки. В настоящее время многие полимерные материалы применяют для строительства шероховатых слоев износа, что позволяет быстро открыть дорогу для движения [12].

Наиболее экономично и эффективно комплексное вяжущее, составленное путем добавки к битуму или дегтю полимерного материала, например резиновой крошки или полимерной смолы. При массовой доле в каменноугольном дегте 10 % эпоксидной смолы дорога с такой поверхностной обработкой может быть открыта для движения без ограничения скорости через несколько часов после окончания работ. Работами МАДИ доказана эффективность применения в качестве добавки к битуму резиновой крошки, поливинилхлорида (ПВХ). Добавка 2–7 % ПВХ настолько повышает эффективность сцепления, что уже через 2–3 сут можно не ограничивать движение. ПВХ – белый порошок, добавляемый к битуму в котел; после их смешивания получают комплексное вяжущее.

8. Поверхностная обработка с использованием битумных шламов. Битумные шламы являются разновидностью эмульсионно-минеральных смесей литой консистенции и состоят из минеральных материалов (щебня, песка, минерального порошка), битумной пасты и воды. Поскольку битумные пасты распадаются и твердеют по мере испарения из них воды, применение битумных шламов возможно только в сухую погоду.

Время высыхания смесей должно составлять не более 2 ч. Перед укладкой битумного шлама покрытие очищают от пыли и грязи, при значительном количестве трещин их прочищают. В зависимости от состояния покрытия его предварительную обработку проводят по-разному:

плотные покрытия увлажняют (1–2 л/м²); пористые покрытия и все виды покрытий при производстве работ в осеннее время подгрунтовывают битумной пастой или эмульсией (не менее 60 % воды из расчета 0,2 л битума на 1 м²); покрытия с недостатком органического вяжущего и на основе минеральных вяжущих обрабатывают путем распределения слоя пасты исходя из нормы расхода битума 0,4–0,8 л/м². Ориентировочный расход песчаных шламов составляет 5–15 кг/м², щебеночных – 10–30 кг/м². Меньшие значения относятся к смесям с меньшими размерами зерен минерального материала.

Уложенную полосу ограждают от наезда транспортных средств. При достижении влажности смеси 6–8 % по слою допускается движение транспортных средств или его уплотняют самоходными катками на пневмошинах массой 8–10 т (3 прохода по одному следу). Скорость движения транспорта ограничивают: в течение первых суток – до 30 км/ч, затем до 40 км/ч до тех пор, пока слой не сформируется настолько, чтобы зерна минерального материала не вырывались из слоя. Для полного уплотнения слоя требуется 20–30 сут.

9. *Устройство тонкослойных покрытий из литых эмульсионно-минеральных смесей* (рис. 5). Одной из самых прогрессивных технологий, позволяющих решить проблемы долговечности покрытия путем защиты верхних слоев конструкций дорожных одежд и восстановления их транспортно-эксплуатационных параметров, является устройство слоев износа из литых эмульсионно-минеральных смесей (ЛЭМС) типа «Сларри Сил» («микросюрфей-синг») [13, 14].

Появление этой многообещающей технологии было вызвано рядом преимуществ битумных эмульсий перед неэмульгированным битумом, таких как:

- использование в холодном состоянии, благодаря чему в 2–3 раза по сравнению с «горячими» технологиями замедляется процесс старения битума в цикле приготовления смесей;
- высокое качество эмульсионно-минеральных смесей, полученных методом смешения в мобильной установке на дороге;
- отсутствие необходимости сушить и нагревать каменные материалы;
- высокая однородность смесей и материалов за счет лучшего смешения зерен с более жидким по консистенции битумным вяжущим материалом;
- возможность обработки эмульсиями влажного каменного материала и выполнения работ при низких температурах.

Первые такие разработки в России проводились еще в конце 60-х – середине 70-х гг. Новые материалы получили название шламовых смесей. Однако отсутствие промышленных технологий их приготовления и укладки не позволило вести промышленное производство и ограничилось опытно-конструкторскими работами.

Опробование литых эмульсионно-минеральных смесей (ЛЭМС) типа «Сларри» на российских дорогах началось в середине 90-х годов – в Московской, Воронежской областях, Краснодарском крае, а также в Санкт-Петербурге и Сургуте [15].

В 2015 г. пермской компанией ООО «ТехДорГрупп» начато сотрудничество с компанией Lafrentz Achte Baugesellschaft mbH, являющейся официальным представителем на территории Российской Федерации производителя дорожно-строительной техники Schäfer Technic GmbH.

Для устройства поверхностной обработки используется машина SCHÄFER для тонкослойных покрытий (“Microsurfacing”), модель SMS. Машины Schäfer-technic типа SMS [1] предназна-



Рис. 5. Машина для укладки тонкослойных покрытий SCHÄFER, модель SMS

чены для дозирования различных компонентов, приготовления смеси и укладки битуминозных шламмов и тонкослойных покрытий (способом холодной укладки).

Данная машина обладает высокой маневренностью и широким диапазоном регулирования ширины обработки покрытия, что позволяет использовать ее в стесненных условиях городской застройки.

Первые опытные участки с применением технологии «микросюрфейсинг» с применением машины SCHÄFER запланированы к ремонту на сезон 2017 г. Для адаптирования и совершенствования технологии укладки в условиях Пермского края с применением местных материалов был предварительно произведен подбор состава смеси на основе опыта применения технологии на территории Германии и Западной Европы в целом.

Подбор состава смесей для устройства микрошероховатых покрытий

Для подбора состава смесей для устройства микрошероховатых покрытий использовали опыт применения технологии «микросюрфейсинга» на территории Германии. Разработкой состава смесей занимается организация Lafrentz Achte Baugesellschaft mbH совместно с Innobit GmbH.

Тонкие асфальтовые покрывающие слои по технологии холодной укладки могут устраиваться на любые дорожные покрытия. Когда неровность основания превышает 10 мм и существуют требования к ровности готового нового слоя, необходимо предпринять дополнительные меры (например, фрезерование старого покрытия).

При выборе строительных материалов, сорта и количества укладываемой смеси необходимо учитывать ожидаемую нагрузку от дорожного движения и визуальное состояние основания.

Размер самого крупного зерна в минеральной смеси зависит от необходимой толщины укладываемого слоя.

Тонкослойные покрытия по технологии «микросюрфейсинг» на территории Германии устраиваются из смесей состава для тонких слоев для холодной укладки (ТСХ).

Различают в основном следующие сорта смесей, учитывающие максимальную крупность минерального заполнителя: ТСХ 3, ТСХ 5 или ТСХ 8 (на территории России, с учетом действующих нормативных документов, будет применяться сорт ТСХ 10). Укладка ТСХ 3 разрешается только на дорогах с малым дорожным движением, на пешеходных и велосипедных дорожках.

Целесообразность применения сортов смесей для устройства тонкослойных покрытий рассмотрена в табл. 1.

Таблица 1

Целесообразность применения сортов смесей для устройства тонкослойных покрытий

Характеристика состояния	Вид/причина	Сорт смеси для тонких слоев холодной укладки – ТСХ сухая масса (кг/м ²)		
		ТСХ 8	ТСХ 5	ТСХ 3
Ровность в поперечном профиле	Деформация	25–30	20–25	–
Шероховатость	Насыщение вяжущим	18–25	16–25	–
	Полированная поверхность зерна	18–25	16–25	10–15
Сетчатые трещины		–	16–25	10–15
Истошение		–	16–25	10–15
Ремонтные места		18-30	16–25	10–15
Выкрашивание щебня		18-30	16–25	–

Таким образом, на территории России для устройства микрошероховатых покрытий рекомендуется использовать смеси сортов ТСХ 5 и ТСХ 8 (ТСХ 10), структура которых показана на рис. 6.

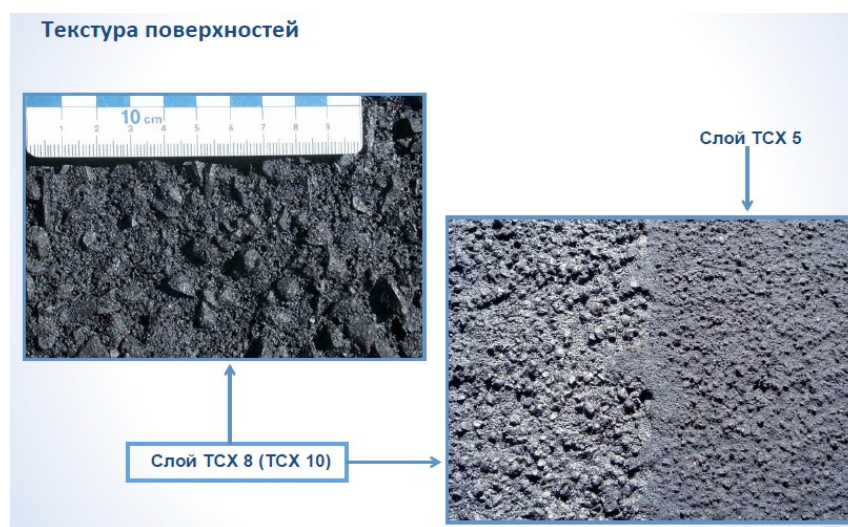


Рис. 6. Структура смесей состава ТСХ 5 и ТСХ 8 (ТСХ 10)

При значительных деформациях покрытия (колеи) рекомендуется выравнивание покрытия перед устройством финишного слоя.

При этом при устранении колеи рекомендуется применение смесей сорта ТСХ 5, для финишного покрытия – ТСХ 8 (ТСХ 10) (рис. 7).

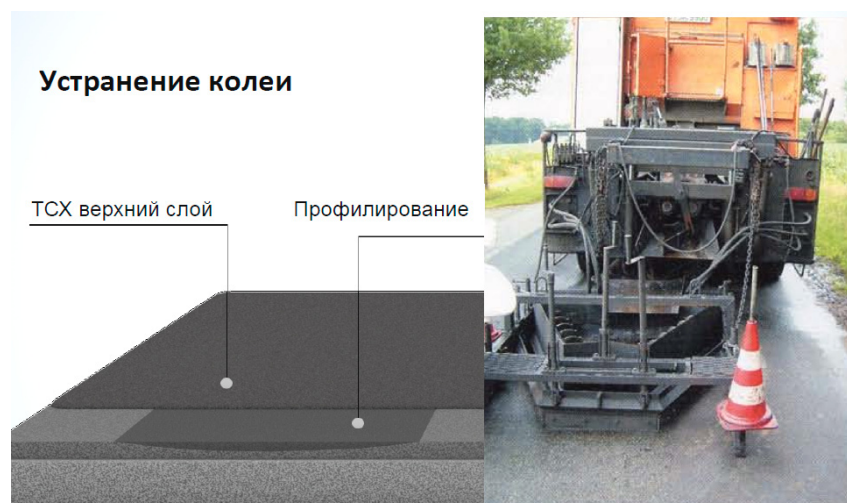


Рис. 7. Устранение колеи и устройство финишного слоя технологии «микросюрфейсинг»

Литая смесь для технологии «микросюрфейсинг» состоит из следующих компонентов:

- минеральный наполнитель;
- модифицированная битумная эмульсия;
- портландцемент бездобавочный марки не ниже 400;
- алюминий сернокислый (сульфат алюминия).

В качестве минерального наполнителя рекомендуется использование фракционированного щебня и песка из отсевов дробления из изверженных горных пород марки не ниже 1200. Для использования технологии на территории Пермского края требуемыми характеристиками обладает

щебень, разрабатываемый и поставляемый ОАО «Первоуральское рудоуправление». Основной материал: габбро и горнблендит (подвиды гранитного щебня).

На основе данных, предоставленных Lafrentz Achte Baugesellschaft mbH, состав смесей для TCX 5, TCX 8 приведен в табл. 2.

Таблица 2

Составы смесей для технологии «микросюрфейсинг», применяемые на территории Германии

Наименование	Единица	TCX 8	TCX 5
Гранулометрический состав, просев:			
– при 11,2 мм	%	100	–
– 8 мм	%	90–100	100
– 5,6 мм	%	45–90	90–100
– 2,8 мм	%	–	–
– 2 мм	%	30–55	35–65
– 0,063 мм	%	4–10	4–12
Минимальное содержание вяжущего, % от сухой массы смеси:			
– нижний слой		5,2	6,2
– верхний слой		5,5	6,5

* Содержание битума, расход эмульсии корректируется относительно концентрации в ней битума.

На основе предоставленных данных, а также требований Методических рекомендации по устройству защитного слоя износа из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри сил» произведено сравнение гранулометрического состава, подобран оптимальный гранулометрический состав, адаптированный для применения на территории Пермского края и Свердловской области (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение и подбор гранулометрического состава минеральной части смесей, используемых по технологии «микросюрфейсинг»

Размер отверстий, см. мм	Содержание частиц мельче данного размера, % по массе					
	тип I*	TCX 5**	TCX 5 (предложенный состав)	тип II*	TCX 8**	TCX 10 (предложенный состав)
10	100	100	100	100	100	100
5	90–100	81–100	85–100	70–90	43–84	55–71
2,5	65–90	43–70	45–75	45–70	32–60	35–60
1,25	45–70	23–44	25–50	28–50	20–38	25–45
0,63	30–50	13–28	20–35	19–34	12–23	15–28
0,315	18–30	8–19	15–25	12–25	7–16	10–20
0,14	10–21	5–14	10–18	7–18	5–12	6–15
0,071	5–15	4–12	4–10	5–15	4–10	4–10

* По методическим рекомендациям по устройству защитного слоя износа из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри сил».

** Ориентировочно для ближайших сит.

С учетом испытаний, проведенных ГП «БелдорНИИ» (г. Минск, Республика Беларусь), оптимальное содержание щебня в смесях, соответствующих составу TCX 10, составляет от 30 до 35 %. По результатам подбора с применением местных материалов Первоуральского рудоуправления, оптимальное содержание щебня 37 %.

При приготовлении смеси для укладки используется модифицированная различными добавками битумная катионная эмульсия.

Для использования в составах смесей ТСХ 5, ТСХ 10 подобраны следующие составы эмульсий, при участии ООО «Эмульбиттех»:

1. На соляной кислоте:

- битум БНД 90/130 – 60 %;
- латекс Butonal NX4190 – 3,0 %;
- эмульгатор Radicote 404 – 0,8–1,2 %;
- эмульгатор Radicote 540 – 0,2–0,3 %;
- кислота соляная до pH = 2,0...2,5;
- вода до 100 %.

2. На фосфорной кислоте:

- битум БНД 90/130 – 60 %;
- латекс Butonal NX4190 – 3,0 %;
- эмульгатор Radicote C320 – 0,8–1,2 %;
- кислота фосфорная до pH = 2,0...2,5;
- вода до 100 %.

Расход остаточного вяжущего в смесях приведен в табл. 2.

Указанное в табл. 2 минимальное содержание вяжущего относится к истинной плотности минерального заполнителя 2,650 г/см³. Для определения соответствующего минимального содержания вяжущего необходимо указанные значения соответственно истинной плотности используемого минерального заполнителя (p_r) умножить на фактор

$$\alpha = \frac{2,650}{p_r}.$$

Истинная плотность щебня М1200 с карьера Первоуральского рудоуправления составляет 3,02 г/см³. Тогда фактор $\alpha = 0,877$.

Таким образом, с учетом применяемой эмульсии и плотности щебня расход битумной эмульсии составит от 7,6 до 8,0 % от массы минерального заполнителя для смесей состава ТСХ 5, от 9,1 до 9,5 % для смесей состава ТСХ 10.

Вывод: несмотря на большое количество различных технологий по устройству поверхностной обработки автомобильных дорог, наиболее современной и прогрессивной является технология устройства тонкослойных покрытий из литых эмульсионно-минеральных смесей по типу «Сларри Сил» и «Микросюрфейсинг». Благодаря использованию эмульсионно-минеральных смесей, укладываемых в холодном состоянии, а также эмульсий с необходимыми добавками увеличиваются сроки строительного сезона, однако следует соблюдать температурные режимы и технологию укладки. Поверхностная обработка по типу «Сларри Сил» и «Микросюрфейсинг» не только восстанавливает изношенный слой, но и позволяет увеличить ровность покрытия и сцепные показатели, что благоприятным образом сказывается на безопасности. К тому же данная технология обладает повышенной устойчивостью к образованию колеи, что является актуальным для дорог с высокой интенсивностью, а также в городских условиях. Отсутствие дополнительных затрат на подготовку материалов (прогрев, просушка), высокая производительность, а также полная автоматизация процесса дозирования, приготовления и укладки смеси делает данную технологию наиболее перспективной для применения в дорожном строительстве и ремонте.

Список литературы

1. Кочетков А.В., Янковский Л.В., Трофименко Ю.А. Совершенствование технологий устройства тонких слоев износа и шероховатых поверхностных обработок [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 4(23). – С. 3–5. – URL: [https:// naukovedenie.ru/PDF/79TVN414.pdf](https://naukovedenie.ru/PDF/79TVN414.pdf) (дата обращения: 20.05.2017).

2. Янковский Л.В. Научно-технический обзор вопросов применения современных микрошероховатых дорожных покрытий и технологий по их устройству // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 3(11). – С. 24–42.
3. Исмагилов А.И., Гатиятуллин М.Х. Эффективные методы содержания автомобильных дорог [Электронный ресурс] // Техника и технология транспорта: научный Интернет-журнал. – 2017. – № 2(3). – С. 8–11. – URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N3-08BDD217.pdf> (дата обращения: 29.05.2017).
4. Гончаров А.В. Современные технологии устройства слоев износа и поверхностных обработок на дорожных асфальтобетонных покрытиях // Молодой ученый. – 2016. – № 11. – С. 313–317.
5. Кочетков А.В., Янковский Л.В., Трофименко Ю.А. Способы формирования устойчивых структур шероховатых поверхностных слоев [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение» – 2014. – № 4(23). – С. 11. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/84TVN414.pdf> (дата обращения: 25.05.2017).
6. Марышев Б.С., Рвачева Э.М. Поверхностная обработка дорожных покрытий // Дорожная техника. – 2004. – С. 17–24.
7. Горельшева Л.А. Защитные слои дорожной одежды // Дороги и мосты. – 2008. – № 2. – С. 254–262.
8. Исмагилов А.И., Гатиятуллин М.Х. Повышение долговечности автомобильных дорог с применением передовых способов эксплуатации [Электронный ресурс] // Техника и технология транспорта: научный интернет-журнал. – 2017. – № 1(2). – URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N2-10BDD117.pdf> (дата обращения: 29.05.2017).
9. Кочетков А.В., Суслиганов П.С. Шероховатые поверхности: нормирование, проектирование и устройство // Автомобильные дороги. – 2005. – № 1. – С. 54–56.
10. Современные машины для устройства дорожных покрытий с шероховатой поверхностью / А.В. Кочетков, М.Л. Ермаков, Н.Е. Кокодеева, С.П. Аржанухина // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 9. – С. 12–14.
11. Немчинов М.В. Устройство шероховатых слоев износа // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2001. – № 2. – С. 6–8.
12. Киселев С.А., Кошкарлов В.Е., Колеров В.С. Применение современных вяжущих материалов на битумной основе в дорожном строительстве на Урале // Инновационный транспорт. – 2012. – № 1. – С. 12–15.
13. Алферов В.И. Повышение надежности автомобильных дорог путем устройства слоев износа методом «Сларри Сил» // Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. / МАДИ. – М., 2000. – С. 189–190.
14. Максименко М.В., Ширяев Н.И. Смесь «Сларри Сил» для тонкослойных покрытий // Известия РГСУ. – 2012. – № 16. – С. 146–147.
15. Петров А.В. Опыт применения литых эмульсионно-минеральных смесей на дорогах РФ. Проблемы и пути развития [Электронный ресурс]. – URL: <http://library.stroit.ru/articles/dorstroy/> (дата обращения: 26.04.2017).

References

1. Kochetkov A.V., Jankovskij L.V., Trofimenko Ju.A. Sovershenstvovanie tehnologij ustrojstva tonkih sloev iznosa i sherohovatykh poverhnostnykh obrabotok [Perfection of technologies of the device of thin layers of deterioration and rough surface treatments]. *Naukovedenie*, 2014, no. 4, pp. 3-5, available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/79TVN414.pdf> (accessed 20 May 2017).
2. Iankovskii L.V. Nauchno-tekhnicheskii obzor voprosov primeneniia sovremennykh mikrosherokhovatykh dorozhnykh pokrytii i tehnologii po ikh ustroystvu. [Scientific and technical review of the application of modern micro-rough road surfaces and technologies for their construction]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*, 2015, no. 3(11), pp. 24-42.

3. Ismagilov A.I., Gatiatullin M.Kh. Effektivnye metody soderzhanii avtomobil'nykh dorog. [Effective methods of maintaining roads]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2017, no. 2(3), p. 8-11, available at: <http://transport-kgasu.ru/files/N3-08BDD217.pdf> (accessed 29 May 2017).
4. Goncharov A.V. Sovremennye tekhnologii ustroistva sloev iznosa i poverkhnostnykh obrabotok na dorozhnykh asfal'tobetonnykh pokrytiyakh [Modern technologies for the installation of wear layers and surface treatments on road asphalt concrete pavements]. *Molodoi uchenyi*, 2016, no. 11, pp. 313-317.
5. Kochetkov A.V., Iankovskii L.V., Trofimenko Iu.A. Sposoby formirovaniia ustoichivykh struktur sherokhovatykh poverkhnostnykh sloev [Methods for the formation of stable structures of rough surface layers]. *Naukovedenie*, 2014, no. 4(23), p. 11, available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/84TVN414.pdf> (accessed 25 May 2017).
6. Maryshev B.S., Rvacheva E.M. Poverkhnostnaia obrabotka dorozhnykh pokrytii [Surface treatment of road surfaces]. *Dorozhnaia tekhnika*, 2004, no. 2, pp. 17-24.
7. Gorelysheva L.A. Zashchitnye sloi dorozhnoi odezhdyy [Protective layers of pavement]. *Dorogi i mosty*, 2008, no. 2, pp. 254-262.
8. Ismagilov A.I., Gatiatullin M.Kh. Povyshenie dolgovechnosti avtomobil'nykh dorog s primeneniem peredovykh sposobov ekspluatatsii [Increase the longevity of highways using advanced operating methods]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2017, no. 1(2), p. 10, available at: <http://transport-kgasu.ru/files/N2-10BDD117.pdf> (accessed 29 May 2017).
9. Kochetkov A.V., Susliganov P.S. Sherokhovatyie poverkhnosti: normirovanie, proektirovanie i ustroistvo. [Rough surfaces: rationing, design and device]. *Avtomobil'nye dorogi*, 2005, no. 1, p. 54-56.
10. Kochetkov A.V., Ermakov M.L., Kokodeeva N.E., Arzhanukhina S.P. Sovremennye mashiny dlia ustroistva dorozhnykh pokrytii s sherokhovatoi poverkhnost'iu. [Modern machines for the installation of road surfaces with a rough surface]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2008, no. 9, pp. 12-14.
11. Nemchinov M.V. Ustroistvo sherokhovatykh sloev iznosa [Arrangement of rough layers of wear]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*, 2001, no. 2, pp. 6-8.
12. Kiselev S.A., Koshkarov V.E., Kolerov V.S. Primenenie sovremennykh viazhushchikh materialov na bitumnoi osnove v dorozhnom stroitel'stve na Urale [Application of modern astringent materials on bitumen basis in road construction in the Urals]. *Innovatsionnyi transport*, 2012, no. 1, pp. 12-15.
13. Alferov V.I. Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nykh dorog putem ustrojstva sloev iznosa metodom «Slurry Seal» [Improving the reliability of highways by installing wear layers using the «Slurry Seal» method]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Moscow, Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj institute, 2000, pp. 189-190.
14. Maksimenko M.V., Shiriaev N.I. Smes' «Slurry Seal» dlia tonkosloinykh pokrytii [A mixture of Slurry Seal for thin-layer coatings]. *Izvestiia Rossiiskogo gosudarstvennogo sotsial'nogo universiteta*, 2012, no. 16, pp. 146-147.
15. Petrov A.V. Opyt primeneniia litykh emul'sionno-mineral'nykh smesei na dorogakh Rossiiskoi Federatsii. Problemy i puti razvitiia [Experience in the application of the cast emulsion-mineral mixtures on roads of the Russian Federation. Problems and ways of development], available at: <http://library.stroit.ru/articles/dorstroy/> (accessed 26 April 2017).

Получено 07.02.2018

Об авторах

Белов Дмитрий Яковлевич (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: waiphsm1@yandex.ru).

Добрынин Антон Олегович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: dobrynin.anton@yandex.ru).

Минзуренко Анастасия Андреевна (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: crushed-stone@yandex.ru).

About the authors

Dmitrii Ya. Belov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: waiphsm1@yandex.ru).

Anton O. Dobrynin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: dobrynin.anton@yandex.ru).

Anastasia A. Minzurenko (Perm, Russia) – Assistant, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: crushed-stone@yandex.ru).