

УДК 622.6 (625.814)

DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-11-12-18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

THE USE OF INDUSTRIAL WASTES FOR DUST CONTROL OF ROADS



*А. В. Вишневецкий, Забайкальский государственный университет, г. Чита
sanek_scientist@inbox.ru*

A. Vishnevskiy, Transbaikal State University, Chita

Статья посвящена актуальной проблеме борьбы с пылью на автомобильных дорогах горнорудных предприятий. Отмечено, что образование пыли на дорогах горнорудных предприятий приводит к загрязнению воздуха в карьерах и снижению производительности предприятий по причине остановки работы технологического транспорта. Выполненные автором измерения запыленности воздуха на дорогах Забайкальского края показали, что покрытия переходного типа характеризуются как сильнопылящие. Осуществлен анализ основных способов обеспыливания щебеночных, гравийных и грунтовых покрытий. Рассмотрены основные пылесвязывающие материалы: гигроскопические соли, органические вяжущие, полимеры, лигносульфонаты. Установлено, что снижение затрат на обеспыливание технологических автомобильных дорог возможно осуществить за счет модификации основных обеспыливающих составов более дешевыми местными материалами, побочными продуктами и отходами производства, обеспечивающими требуемый или повышенный срок действия. Исследовано использование в пылезакрепляющих составах зол уноса. Разработана технология двухстадийной обработки дорожного покрытия на основе эмульсионно-зольной суспензии. Приведены технологические рекомендации и результаты наблюдений за состоянием экспериментальных участков автомобильных дорог. Сделан вывод, что способ двухстадийной обработки позволяет в два раза сократить расход битумной эмульсии, увеличить срок обеспыливающего действия до 6...7 мес, снизить пыльность покрытий в 4...5 раз

Ключевые слова: автомобильные дороги горнорудных предприятий; покрытие переходного типа; пыльность дорог; содержание дорог; борьба с пылью на дорогах; обеспыливание дорог; обеспыливающие материалы; пылезакрепляющие составы; отходы производства; золы уноса

The article is devoted to an actual problem of dust control on the roads of mining enterprises. Dust formation on the roads mining leads to air pollution in quarries and performance of enterprises for the reason of a stop of work of technological transport. The assessments of road dustiness in Transbaikal region, made by the author, have showed that the transitional coatings are characterized as heavy dusted. The author has carried out an analysis of the main methods of dust control gravel, sand and soil surfaces. The main dust forming materials: hygroscopic salts, organic binders, polymers, lignosulphonates are described. It is stated that the reduced cost of dedusting technology of roads is possible due to the modification of the main de-dusting formulations of cheaper local materials, by-products and waste production, providing the desired or increased duration. The author has conducted the research on the use of dust in the compositions of fly ash. The two-stage processing technology of the road surface on the basis of emulsion-ash slurry is developed. The technological recommendations are given and the observation results for the state of experimental sections on the roads are presented. The two-stage processing technology allows 2 times to reduce the consumption of bitumen emulsion to increase the period of de-dusting steps to 6-7 months, and reduce dusting surfaces in 4...5 times

Key words: roads of mining enterprises; transitional coating; dusting of roads; maintenance of roads; struggle against dust on highways; dust of roads; de-dusting materials; dust cover compositions; waste production; fly ash

Введение. Транспортная сеть горнорудных предприятий представлена, преимущественно, дорогами с переходными типами покрытия – щебеночными, гравийными и грунтовыми. Их пылимость является неотъемлемым свойством, наблюдающимся в течение всего срока эксплуатации технологических дорог. Образование пыли на дорогах горнорудных предприятий приводит к загрязнению воздуха в карьерах. В результате не только ухудшается экологи-

ческая обстановка, но и останавливается работа технологического транспорта, что приводит к снижению производительности предприятий, добычи и переработки полезных ископаемых [3; 6].

Методология и методика исследования. Согласно ВСН 7-89, покрытия автомобильных дорог по степени пылимости подразделяются на следующие виды: непылящие, слабопылящие, среднепылящие и сильнопылящие (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Оценка состояния дорожных покрытий по пылимости /
Assessment of road surfaces for dusting**

Состояние покрытия по пылимости / The condition of road surfaces for dusting	Уровень запыленности воздуха, мг/м³ / The level of air dustiness, mg/m³
Непылящие / Non-dusting	≤ 3
Слабопылящие / Low-dusting	3...10
Среднепылящие / Middle-dusting	10...60
Сильнопылящие / Strong-dusting	> 60

Выполненные автором в соответствии с методикой ВСН 7-89 измерения запыленности воздуха на дорогах Забайкальского края показали, что покрытия переходного типа характеризуются как сильнопылящие. Показатели уровня запыленности воздуха на щебеночных и гравийных покрытиях составили 110...250 мг/м³, что многократно превышает минимальное значение для сильнопылящих покрытий.

Основными принципами действия пылесвязных составов являются:

1) способность поглощать влагу из воздуха. Действие гигроскопических солей основано на этом принципе;

2) химическое взаимодействие с частицами пыли. Действие неорганических вяжущих основано на данном принципе;

3) закрепление вещества на частицах пыли, связывание их между собой и вовлечение в процесс образования органоминеральных структур на основе высокомолекулярных соединений. На этом принципе основано действие органических вяжущих, полимеров, лигносульфонатов и др. [2; 6].

Таким образом, обеспыливающие составы можно подразделить на пылеподавляющие и пылезакрепляющие.

В различных нормативных источниках и научно-технических публикациях [2; 4; 7; 8] достаточно широко освещены способы борьбы с пылью на автомобильных дорогах. Среди основных реагентов, наиболее эффективных для обеспыливания покрытий автомобильных дорог, применяют хлористые соли (кальция, магния, натрия), битумные эмульсии, лигносульфонаты.

Гигроскопические соли следует применять в районах с умеренным и умеренно жарким климатом при относительной влажности воздуха не менее 0,35...0,45. Соли могут применяться как в сухом, так и жидком виде. Срок их обеспыливающего действия составляет 15...40 сут.

Лигносульфонаты технические (далее – ЛСТ) представляют собой кальциевые, натриевые, аммониевые или кальциево-натриевые соли лигносульфоновых кислот [8]. Лигносульфонаты технические являются побочными продуктами лесохимической промышленности при производстве целлюлозы сульфитным способом: сульфитный щелок (далее – СЩ), сульфитно-спиртовая барда (далее – ССБ) и сульфитно-дрожжевая бражка (далее – СДБ). Срок их обеспыливающего действия

составляет 20...30 сут. Соответственно, в деревообрабатывающей промышленности ЛСТ являются технологическими растворами и для дорожных организаций, работающих вблизи таких предприятий. Лигносульфонаты технические – наиболее доступный материал, применяющийся для обеспыливания дорог.

Применение битумных эмульсий для обработки дорожных покрытий обеспечивает наибольший период обеспыливающего действия, составляющий до 90 сут. Применение катионной битумной эмульсии с содержанием основного вещества (битума) в пределах 50...65 %, эмульгатора – от 0,2 (для ЭБК-1) до 0,4 % (для ЭБК-2) – позволяет оптимизировать толщину пленки битума и повысить его адгезионную способность (по адсорбционным связям, диффузионному проникновению, за счет электрического дипольного момента функциональных групп и путем механического заклинивания тонкой битумной пленки в субстрате) [5]. После применения битумной эмульсии интенсивность пылевыделения при движении автотранспорта снижается на 97...98 %. Однако такой продолжительный срок достигается путем обработки поверхности дорожного покрытия смешением на дороге. При этом расход битумной эмульсии типа ЭБК-1 или ЭБК-2 может составлять 6 л/м².

В зарубежной практике среди способов, обеспечивающих наиболее длительные сроки пылеудерживающего действия, отмечается обработка дорожных покрытий полимерами на водной основе [9; 10]. Типичная полимерная эмульсия содержит около 40...60 % полимера, 1...2 % эмульгатора, а оставшуюся часть составляет природная вода. Полимер также может значительно изменяться по своему химическому составу, молекулярному весу, степени разветвленности, размеру боковых цепей, составу и т. д. Большинство полимерных продуктов, используемых для обработки грунтов, является сополимерами на основе винилацетата или акрила [1]. Наиболее известным среди них является полимерная эмульсия LDC+12 компании «Enviroseal Corporation» (США), основу которой составляет акри-

ловый сополимер – продукт радикальной полимеризации эфиров акриловой и метакриловой кислот и стирола [9]. В зависимости от содержания полимерной эмульсии в растворе 0,07...0,1 кг/л и расхода реагента 2,2...3,0 л/м² срок его обеспыливающего действия составляет до 6 мес.

Хорошо зарекомендовали себя составы «Powered Soiltac» компании «Soilwork, LLS» (США), являющиеся сополимерами из винилацетата, этиленового и винилового эфиров с наполнителями и защитным коллоидом [10]. Материал имеет широкую область применения и прошел проверку в Центре технических исследований и разработок Сухопутных войск США. При различной концентрации полимера в эмульсии 0,019...0,058 кг/л срок обеспыливающего действия достигает 12 мес. Недостатком применения данных полимерных эмульсий является необходимость закрытия движения на время отверждения участка обработанного покрытия, которое составляет 24 ч.

Необходимое количество обработок за сезон определяют в соответствии с методикой ВСН 7-89, с учетом продолжительности теплого периода, в течение которого наблюдается пылеобразование, и количества дождливых дней:

$$N = \frac{П - Д}{T}, \quad (1)$$

где $П$ – продолжительность теплого периода в году, сут (для ориентировочных расчетов принимают для I дорожно-климатической зоны 30...60 сут; для II – 60...90 сут; для III – 80...110 сут; для IV – 100...130 сут; для V – 120...180 сут);

$Д$ – количество дождливых дней за теплый период года;

T – срок действия обеспыливающих материалов, сут.

Соответственно, потребное количество обеспыливающих материалов определяют по формуле

$$P = (g + N' g_n) 1000 b L \cdot 1,1, \quad (2)$$

где g – норма расхода обеспыливающих материалов на 1 м² при первичной обработке, кг (л);

g_n – норма расхода обеспыливающих материалов на 1 м² при каждой повторной обработке ($g_n = 0,5g$), кг (л);

N' – количество повторных обработок за сезон ($N' = N - 1$);

b – ширина проезжей части, м;

L – длина дороги (участка), км;

$1,1$ – коэффициент запаса.

Анализ способов обеспыливания дорог с щебеночными, гравийными и грунтовыми покрытиями показывает, что, несмотря на высокую степень пылеподавления и продолжительный срок обеспыливающего действия, пылесвязывающие реагенты характеризуются высокой стоимостью. Соответственно, доля затрат на борьбу с пылью на автомобильных дорогах горнорудных предприятий Забайкалья достигает 80 % от общих затрат на выполнение работ по их содержанию в весенне-летне-осенний период.

Снижение затрат на обеспыливание технологических автомобильных дорог возможно осуществить за счет модификации основных обеспыливающих составов

более дешевыми местными материалами, побочными продуктами и отходами производства, обеспечивающими требуемый или повышенный срок действия.

Наиболее известным из отходов промышленного производства является зола уноса. Ежегодно на предприятиях топливно-энергетического комплекса Забайкальского края сжигается более 7 млн т угля, в результате чего в золоотвалах скапливается более 1 млн т золы. Таким образом, можно утверждать, что зола уноса является практически неисчерпаемым сырьевым материалом, получаемым из отходов производства. Основными поставщиками угля на теплоэлектростанции Забайкальского края являются Харанорский и Уртуйский угольные разрезы. На основании исследований свойств и проведенного химического анализа установлено, что золы от сжигания харанорских и уртуйских углей являются скрыто активными, следовательно, могут использоваться как добавки к органическим и минеральным вяжущим (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Характеристика химического состава и качества зол уноса от сжигания харанорских и уртуйских углей / Characteristics of chemical composition and quality of fly ash from the combustion of kharanorsky and urtuysky coals

Характеристики / Characteristics	Золы уноса от сжигания / Fly ash from combustion	
	уртуйский уголь / urtuysky coal	харанорский уголь / kharanorsky coal
Содержание, % / Content, %		
SiO ₂	47,27	54,64
Al ₂ O ₃	23,83	26,41
Fe ₂ O ₃	8,34	7,28
CaO	16,87	9,61
MgO	1,44	1,62
SO ₃	0,74	0,26
Содержание свободного CaO, % / Content of free CaO, %	2,10	0,57
Содержание активных CaO+MgO, % / Content of active CaO + MgO, %	1,37	0,20
Содержание водорастворимых соединений, % / Content of water-soluble compounds, %	0,63	0,72
Насыпная плотность, г/см ³ / Bulk density, g/cm ³	1,105	0,736
Истинная плотность, г/см ³ / True density, g/cm ³	2,62	2,22
Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,644	1,246
Пористость, % / Porosity, %	37,1	43,8
Влажность, % / Humidity, %	0,06	0,05
Удельная поверхность, см ² /г / Specific surface, cm ² /g	1927	2207
Потери при прокаливании, % / Loss on ignition, %	2,11	0,32

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе проведенного исследования автором разработан способ обеспыливания дорожных покрытий переходного типа путем их двухстадийной обработки битумной эмульсией с последующим нанесением защитного слоя из эмульсионно-золевой суспензии.

Первичная обработка покрытия битумной эмульсией осуществляется после ремонтного профилирования и увлажнения его поверхности. Расход эмульсии при первичной обработке составляет 2,0 л/м², толщина слоя обработки – 3...5 см. Перемешивание взрыхленного материала покрытия с эмульсией осуществляется автогрейдером за 4...6 проходов. По окончании перемешивания производится чистовое профилирование поверхности слоя обработанного покрытия и его укатка катком 2...4 прохода по следу.

На втором этапе на поверхность дорожного покрытия наносится защитный слой из эмульсионно-золевой суспензии. В экспериментальный состав суспензии входили катионная битумная эмульсия ЭБК-3, сухая зола уноса Харанорской ТЭЦ и вода. Приготовление суспензии осуществляли путем первичного перемешивания золы с водой в количестве 30...40 % от массы золы, а затем перемешивали разжиженной золой с битумной эмульсией. Ориентировочное содержание компонентов в суспензии варьировалось в следующем соотношении: зола уноса – 45...49 %, эмульсия ЭБК-3 – 36...38 %, вода – оставшаяся часть. Распределение суспензии осуществляли по норме 1,8...2,0 л/м². Общий расход битумной эмульсии ЭБК-3 составил 2,75 л/м². Для закрепления защитного слоя на его поверхности дополнительно устраивается защитная посыпка из крупного песка или отсева дробления по норме 150...300 г/м². В результате на поверхности дорожного покрытия образуется защитный коврик толщиной 8...10 мм, препятствующий образованию пыли на покрытии, обладающий достаточной износостойкостью и хорошей водонепроницаемостью. Взаимодействие минеральных компонентов золы уноса с катионной добав-

кой, содержащейся в битумной эмульсии, способствует быстрому вытеснению воды и ускорению затвердевания материала. В результате присутствия золы уноса в суспензии при производстве дорожных работ не происходит ее налипания на колеса машин.

Качество обработки дорожного покрытия оценивали по его визуальному состоянию и уровню запыленности воздуха. Запыленность воздуха определяли весовым способом, основанным на просасывании воздуха через бумажные фильтры типа АФА-В-10 с помощью аспирационного прибора. Оборудование (аспирационный прибор, фильтродержатели с кронштейнами в количестве трех штук, фильтры, резиновые шланги) закрепляли сзади на автомобиле типа УАЗ таким образом, чтобы плоскость фильтров была параллельна заднему борту автомобиля. Отбор пыли производили на скорости 40 км/ч.

Концентрацию пыли в воздухе C_{ϕ} (мг/м³) определяют по формуле

$$C_{\phi} = (q_2 - q_1) \times 1000 / Q t \times K_1 K_2, \quad (3)$$

где q_1 – начальная масса фильтра, мг;

q_2 – масса фильтра после взятия пробы пыли, мг;

Q – скорость прохождения воздуха через фильтр, л/мин;

t – время отбора пробы пыли, мин;

K_1, K_2 – поправочный коэффициент на температуру и давление воздуха соответственно.

Для осуществления качественной оценки способов обеспыливания дорожных покрытий наиболее целесообразным считается использование показателя обеспыливающего эффекта, который определяется по формуле

$$\mathcal{E}_o = (C_{\phi}^{необр} - C_{\phi}^{обр}) \times 100 \% / C_{\phi}^{необр}, \quad (4)$$

где $C_{\phi}^{необр}$ – концентрация пыли в воздухе на покрытии, не обработанном обеспыливающим составом, мг/м³;

$C_{\phi}^{обр}$ – концентрация пыли в воздухе на покрытии, обработанном обеспыливающим составом, мг/м³.

Результаты проведенных исследований и опытно-экспериментальных работ пока-

зали, что после 7 месяцев эксплуатации защитный слой из эмульсионно-зольной суспензии сохранился на 50 % общей площади поверхности дорожного покрытия. Относительный эффект снижения пылимости дорожного покрытия составил 76...80 %.

Выводы. По сравнению с традиционной технологией обеспыливания дорожных покрытий битумными эмульсиями способ двухстадийной обработки битумной эмульсией с последующим нанесением защитного слоя из эмульсионно-зольной суспензии позволяет:

1) снизить пылимость покрытий в 4...5 раз;

2) увеличить срок обеспыливающего действия до 6...7 месяцев;

3) практически в два раза сократить расход битумной эмульсии для обработки покрытия;

4) расширить область применения местных отходов промышленного производства, в частности зол уноса топливно-энергетических предприятий.

Таким образом, применение способа обеспыливания переходных покрытий с созданием защитного слоя из эмульсионно-зольной суспензии позволяет на 30 % сократить общие затраты на содержание покрытий технологических автомобильных дорог в весенне-летне-осенний период.

Список литературы

1. Абрамова Т. Т., Босов А. И., Валиева К. Э. Стабилизаторы грунтов в отечественном дорожном и аэродромном строительстве // *Дороги и мосты*. 2013. № 2. С. 60–85.
2. Безрук В. М. Укрепление грунтов. М.: Транспорт, 1965. 150 с.
3. Воронов Е. Т. Борьба с пылью при разведке месторождений в условиях вечной мерзлоты. М.: Недра, 1977. 93 с.
4. Игнатьева А. П., Стойка Н. А. Стабилизация и обеспыливание гравийных дорог // *Автомобильные дороги*. 2011. № 8. С. 73–77.
5. Кокшаров В. Е., Валиев Н. Г. Битумные эмульсии с эмульгаторами Колтек // *Автомобильные дороги*. 2011. № 1. С. 120–121.
6. Ушаков В. В., Браунер Е. Н. Мероприятия по снижению пылеобразования на карьерных автомобильных дорогах Забайкалья // *Материалы региональной конференции «Проблемы освоения и рационального использования природных ресурсов Забайкалья»*. Чита, 2000. С. 62–65.
7. Христофорова А. А., Соколова М. Д., Филиппов С. Э., Заровняев Б. Н., Гоголев И. Н. Перспективы применения техногенного сырья и модифицирующих добавок природного происхождения при строительстве карьерных дорог // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. № 11. С. 409–415.
8. Чельшева Т. В. Применение лигносульфонатов для укрепления и обеспыливания лесовозных автомобильных дорог // *Лесной журнал. Известия вузов*. 2001. № 5-6, 2001. С. 64–70.
9. John F. Rushing, Jeb S. Tingle. *Dust Control Field Handbook* ERDC/GSL SR-06-7, Geotechnical and Structures Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180-6199, 2006. 70 p.
10. Rushing J.F., Moore V.M., Tingle J.S., Mason Q., McCaffrey T. *Dust abatement methods for lines-of-communication and base camps in temperate climates* ERDC/GSL TR-05-23, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 2005. 17 p.

References

1. Abramova T. T., Bosov A. I., Valieva K. E. *Dorogi i mosty* (Roads and bridges), 2013, no. 2, pp. 60–85.
2. Bezruk V. M. *Ukrepenie gruntov* (Strengthening of soils). Moscow: Transport, 1965. 150 p.
3. Voronov E. T. *Borba s pylyu pri razvedke mestorozhdeniy v usloviyah vechnoy merzloty* (Dust control during exploration of deposits in permafrost conditions). Moscow: Nedra, 1977. 93 p.
4. Ignatieva A. P., Stoyka N. A. *Avtomobilnye dorogi* (Automobile roads), 2011, no. 8, pp. 73–77.
5. Koksharov V. Ye., Valiev N. G. *Avtomobilnye dorogi* (Automobile roads), 2011, no. 1, pp. 120-121.
6. Ushakov V. V., Brauner E. N. *Materialy regionalnoy konferentsii «Problemy osvoeniya i ratsionalnogo ispolzovaniya prirodnykh resursov Zabaykaliya»* (Materials of the regional conference “Problems of development and rational use of natural resources of Transbaikalia”). Chita, 2000, pp. 62–65.

7. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Filippov S. E., Zaronyaev B. N., Gogolev I. N. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining Information Analytical Newsletter), 2012, no. 11, pp. 409–415.

8. Chelysheva T. V. *Lesnoy zhurnal. Izvestiya vuzov* (Forest Journal. Proceedings of high schools), 2001, no. 5-6, 2001, pp. 64–70.

9. John F. Rushing, Jeb S. Tingle. *Dust Control Field Handbook ERDC/GSL SR-06-7, Geotechnical and Structures Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road* (Dust Control Field Handbook ERDC/GSL SR-06-7, Geotechnical and Structures Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road). Vicksburg, MS 39180-6199, 2006. 70 p.

10. Rushing J.F., Moore V.M., Tingle J.S., Mason Q., McCaffrey T. *Dust abatement methods for lines-of-communication and base camps in temperate climates” ERDC/GSL TR-05-23, U.S. Army Engineer Research and Development Center* (Dust abatement methods for lines-of-communication and base camps in temperate climates” ERDC/GSL TR-05-23, U.S. Army Engineer Research and Development Center). Vicksburg, MS, 2005. 17 p.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Вишневецкий Александр Витальевич, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: исследование и разработка методов повышения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог
sane_k_scientist@inbox.ru

Alexandr Vishnevsky, candidate of technical sciences, associate professor, Construction department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: study and development of methods for improvement of transport-operational condition of roads

Образец цитирования

Вишневецкий А. В. Использование отходов промышленного производства для обеспыливания технологических автомобильных дорог // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 11. С. 12–18. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-11-12-18.

Vishnevsky A. The use of industrial wastes for dust control of roads // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 11, pp. 12–18. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-11-12-18.

Дата поступления статьи: 17.11.2017 г.
Дата опубликования статьи: 30.11.2017 г.

