

УДК 622.271:628.511:330.45

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОРОГАХ КАРЬЕРА

Гомзякова Е.Е., студент гр. ЭБбтс-241, II курс
Научный руководитель: Тюленева Т.А., к.э.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В современной практике открытой разработки месторождений полезных ископаемых проблема производственной запыленности остается одной из наиболее острых и трудно решаемых задач, стоящих перед главным инженером предприятия. По мере углубления карьеров и увеличения глубины заложения горизонтов протяженность технологических дорог неуклонно растет, а интенсивность движения горнотранспортного оборудования достигает критических значений. На крупных предприятиях ежесуточный грузооборот может исчисляться десятками тысяч тонн породы, что подразумевает непрерывное движение большегрузных самосвалов грузоподъемностью от 90 до 220 тонн. Каждое такое транспортное средство при движении по сухому грунту поднимает в воздух облака мелкодисперсной пыли, концентрация которой в придорожной зоне часто многократно превышает предельно допустимые значения, установленные санитарными нормами. Ситуация усугубляется тем, что пыль на карьерах имеет сложный минералогический состав, часто включающий кварц и другие высокоабразивные минералы. Это создает двойную угрозу: с одной стороны, риск профессиональных заболеваний органов дыхания у персонала, таких как силикоз и пневмокониоз, с другой — ускоренный износ дорогостоящего оборудования. Двигатели внутреннего сгорания, системы гидравлики и подшипниковые узлы самосвалов крайне чувствительны к попаданию твердых частиц. В связи с этим отрасль вынуждена искать альтернативные технологические решения, способные обеспечить долговременный эффект стабилизации поверхности при оптимальных экономических затратах. Целью данного исследования является комплексная оценка эффективности современных систем пылеподавления, включая химические реагенты и пенные технологии, с точки зрения их технологической результативности, экономической целесообразности и экологической безопасности.

Основным механизмом генерации пыли является абразивное взаимодействие шин тяжелых самосвалов с поверхностью дорожного полотна. Дороги на карьерах, как правило, формируются из вскрышных пород, которые имеют неоднородный гранулометрический состав. При движении техники происходит дробление верхнего слоя породы, образование мелких фракций размером менее 0,1 мм и их последующий подъем в воздух за счет аэродинамических потоков, создаваемых движущимся автомобилем. Интенсивность

этого процесса напрямую зависит от влажности породы, скорости движения транспорта, типа шин и коэффициента сцепления.

Негативные последствия высокой запыленности носят системный и накопительный характер. Для персонала, работающего в карьере, постоянное вдыхание пыли приводит к хроническим заболеваниям органов дыхания. Это влечет за собой рост расходов предприятия на обязательные медицинские осмотры, выплату компенсаций за вредные условия труда, предоставление дополнительных отпусков и замену кадров из-за профнепригодности. Однако экономический ущерб от техники часто оказывается даже более значительным.

В настоящее время на рынке технологий для горной промышленности представлено несколько классов решений для борьбы с пылью, каждый из которых имеет свои физические принципы действия и область применения [1-4]. Наиболее распространенным остается водный полив, однако он все чаще модифицируется добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ). Принцип действия ПАВ основан на снижении поверхностного натяжения воды, что позволяет ей лучше смачивать гидрофобные частицы пыли и проникать в мелкие поры грунта. Это дает кратковременный эффект улучшения смачиваемости, но не решает фундаментальную проблему быстрого испарения влаги в жаркую погоду.

Более перспективным направлением является применение гигроскопичных солей, таких как хлорид кальция (CaCl_2) или хлорид магния (MgCl_2). Принцип их действия основан на химической способности притягивать влагу из окружающего воздуха и удерживать ее в дорожном полотне даже при низкой относительной влажности. Это позволяет сохранять поверхность увлажненной в течение нескольких дней после обработки, что значительно сокращает частоту поливов. Однако у солевых растворов есть существенный недостаток, который часто становится препятствием для их внедрения — высокая коррозионная активность. Постоянный контакт таких растворов с металлическими частями самосвалов, дорожной техники и металлоконструкций может ускорять коррозию кузова, рамы и тормозных систем. В долгосрочной перспективе затраты на борьбу с коррозией и замену деталей могут нивелировать экономическую выгоду от снижения расхода воды.

Наиболее технологически совершенными считаются решения на основе полимерных связующих и пенных систем. Полимерные составы создают на поверхности дороги тонкую, но прочную эластичную пленку, которая склеивает мелкие частицы породы между собой, предотвращая их выветривание и поднятие в воздух. Такая корка устойчива к механическому воздействию шин и может сохранять эффективность в течение нескольких недель или даже месяцев без повторной обработки, в зависимости от интенсивности движения. Пенные системы работают по принципу объемного связывания: пена обволакивает частицы пыли при нанесении, обеспечивая глубокую пропитку слоя породы при меньшем расходе жидкости. Эти методы требуют значительно меньшего объема воды по сравнению с традиционным поливом, что критиче-

ски важно для регионов с дефицитом водных ресурсов. Однако стоимость полимерных реагентов значительно выше стоимости воды или солей, что требует тщательного экономического обоснования.

Для объективного сравнения различных методов пылеподавления недостаточно оценивать только стоимость литра реагента или кубометра воды. Необходим комплексный подход, учитывающий совокупную стоимость владения системой на протяжении определенного периода, обычно одного года. В рамках данного исследования была принята методика расчета приведенных затрат, включающая капитальные вложения в оборудование для нанесения составов и операционные расходы на материалы, работу техники, персонал и ликвидацию последствий.

Важным параметром является периодичность обработки дороги. Если воду необходимо подавать ежедневно, а иногда и несколько раз в смену, то полимерные составы могут требовать нанесения один раз в месяц или квартал. Это кардинально меняет структуру затрат, снижая нагрузку на парк поливомоечной техники и высвобождая водителей для других задач. Кроме того, в расчет следует включать косвенные убытки от простоя техники из-за поломок, связанных с запыленностью.

При переходе на полимерные связующие прямые затраты на материалы возрастают в 5–10 раз по сравнению со стоимостью воды. Однако частота обработок снижается в 20–30 раз. Это позволяет сократить парк поливомоечной техники или перепрофилировать ее на другие задачи, например, на уборку снега зимой или планировку дорог. Расчеты показывают, что при длине дорог более 30 километров и интенсивном движении транспорта применение полимеров становится экономически оправданным на горизонте одного года. Дополнительным преимуществом является улучшение качества дорожного полотна. Связанная поверхность меньше подвержена образованию колеи и выбоин, что снижает сопротивление качению и расход топлива самосвалами на 3–5%. Также наблюдается снижение частоты замены воздушных фильтров на технике, что дает дополнительную экономию.

Нельзя игнорировать и экологические риски. Некоторые химические реагенты могут проникать в почву и грунтовые воды, изменяя их химический состав и кислотность. В районах с чувствительной экосистемой или близким залеганием водоносных горизонтов использование определенных типов солей или полимеров может быть ограничено надзорными органами. Поэтому при выборе системы пылеподавления необходимо проводить предварительные лабораторные испытания реагентов на совместимость с местными породами и оценку потенциального миграционного загрязнения.

Несмотря на более высокую начальную стоимость материалов, снижение эксплуатационных расходов на содержание техники, экономию водных ресурсов и уменьшение косвенных убытков от износа оборудования делают их внедрение оправданным для большинства предприятий. Однако выбор конкретной технологии не может быть универсальным решением для всех случаев. Он должен базироваться на детальном анализе климатических усло-

вий, типа пород, формирующих дорожное полотно, экологических ограничений региона и структуры автопарка предприятия. Оптимальным решением часто становится комбинированный подход, где основные магистрали обрабатываются полимерами для долгосрочного эффекта, а временные участки или зоны погрузки поливаются водой или пеной для оперативного подавления пыли. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку отечественных реагентов с улучшенными экологическими характеристиками и создание автоматизированных систем контроля запыленности в реальном времени, интегрированных в единую цифровую среду карьера.

Список литературы:

1. Далбаева Е.П. Обоснование эффективных мер борьбы с пылью на карьерах криолитозоны // Записки Горного института. 2014. Т. 207. С. 110-111.
2. Логинов, Е. В. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата / Е. В. Логинов, Т. А. Тюленева // Уголь. – 2021. – № 12(1149). – С. 6-10. – DOI 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
3. Писарев В.С., Басаргин А.А. Методы борьбы с пылью на карьерных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-borby-s-pylyu-na-kariernyh-dorogah> (дата обращения: 21.02.2026).
4. Строкова В.В., Рязанова А.Ю., Маркова И.Ю., Степаненко М.А., Ишмухаметов Э.М. Оценка эффективности водных пылеподавляющих эмульсий на основе акриловых и алкидных полимеров // Записки Горного института. 2024. Т. 270. С.