

## ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫМИ ПУШКАМИ-ТУМАНООБРАЗОВАТЕЛЯМИ С ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ФОРСУНКАМИ

**А. В. Иванов, А. В. Стриженок**

*Санкт-Петербургский горный университет, E-mail: andrey-racer@mail.ru,  
21-линия Васильевского острова, 2, 199106, г. Санкт-Петербург*

Сложность при борьбе с пылевыведением на намывных техногенных массивах представляет техническая реализация средозащитных мероприятий в условиях постоянного пополнения хвостохранилища и обновления поверхностного пылящего слоя. Решением этой проблемы является применение аэрозольных пушек-туманообразователей в составе передвижного комплекса пылеподавления. Предложено располагать комплекс аэрозольного пылеподавления на железнодорожной платформе, передвигающейся вдоль хвостохранилища. Это дает возможность автоматизировать процесс пылеподавления и значительно увеличить объем перевозимой воды. Для хвостохранилищ "Ковдорского ГОКа" определен гранулометрический состав пыли. На основе лабораторных экспериментов установлена зависимость снижения пылеподавления от интенсивности пылепереноса. Это позволяет рассчитать требуемое количество форсунок в аэрозольной пушке.

*Хвостохранилище, пылеперенос, аэрозольная пушка, форсунка*

Одной из острых проблем эксплуатации намывных техногенных массивов горнопромышленных агломераций северных регионов является проблема пылевого загрязнения атмосферы. Превышения предельно допустимых концентраций твердых взвешенных веществ в воздухе на большинстве предприятий Мурманской области наблюдаются нерегулярно и ограничены периодом времени негативных климатических условий. Так, на предприятии ОАО "Ковдорский ГОК" для снижения объемов пылеобразования на хвостохранилище реализован способ, при котором намыв пляжей осуществляется попеременно из 16 пульповыпусков, расположенных на дамбе. Существующий режим позволяет поддерживать наибольшую площадь массива в увлажненном состоянии. Тем не менее этот режим намыва не обеспечивает достаточного увлажнения и при определенных условиях на границе селитебной зоны наблюдается превышение предельно допустимых концентраций кремнийсодержащей пыли до 5 раз. В зимний период выпуск осуществляется сосредоточенно только из четырех пульповыпусков, расположенных на западном отрезке дамбы, и превышение нормативных показателей не наблюдается.

Такие способы изолирования пылящей поверхности, как посев трав и нанесение полимерных покрытий, битумной эмульсии [1], трудоемки и затратны. Высаживание растений на поверхности массива, как правило, сопровождается длительным процессом подготовки. Нанесение полимерных покрытий может проводиться путем обработки поверхности расплавленным компонен-

том либо с помощью готового листового материала, но многократное повторное использование приводит к возникновению многочисленных нарушений целостности, что делает его непригодным. Общий недостаток этих способов — возможность применения только на заключительной стадии эксплуатации хвостохранилища и невозможность — в системе оперативного реагирования при опасности резкого ухудшения пылевой обстановки.

Когда намыв происходит с такой интенсивностью, что изолирование поверхности становится нерациональным, целесообразны способы временного закрепления поверхности. Один из них — обработка поверхности массива битумной эмульсией. Применение тракторной техники для провоза установки битумирования возможно только после достижения достаточной прочности поверхности после намыва. При подсыхании верхнего слоя намыва требуется его обработка, но нижние слои намыва, толщина которых в отдельных случаях достигает 300–400 мм, остаются влажными, а ширина обработки и скорость провоза комплекса не позволяют проводить пылеподавление оперативно.

При постоянно обновляемой поверхности пыления более рациональный способ предотвращения пылевыделения — орошение установками высокого давления брандспойтного (реактивного) типа. Недостаточное распыление струи в воздухе приводит к тому, что увлажнение поверхности осуществляется избыточно с высоким удельным расходом воды.

В рассматриваемых условиях наиболее эффективен способ пылеподавления на хвостохранилище с помощью аэрозольных пушек-туманообразователей. Аэрозольная пушка представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположен вентилятор осевого типа. На выходном отверстии корпуса установлена сеть форсунок распыления жидкости. Дальность распыления аэрозоля при отсутствии ветровой нагрузки зависит от аэродинамической характеристики нагнетающего вентилятора. Для некоторых устройств такого типа дальность распыления при безветрии достигает 120 м с возможностью увеличения при сопутствующем ветре [1].

Аэрозольные пушки-туманообразователи работают в двух режимах: в режиме осаждения пыли в воздухе (рис. 1а), когда аэрозоль нагнетается в атмосферу, где происходит смачивание, коагуляция и осаждение пылевых частиц, и в режиме увлажнения поверхности, когда аэрозоль нагнетается и распространяется вдоль поверхности массива за счет “стелющего” эффекта (рис. 1б), увлажняя ее с меньшим удельным расходом воды за счет повышения степени диспергирования по сравнению с установками брандспойтного типа [2].



Рис. 1. Аэрозольная пушка-туманообразователь для пылеподавления: а — в режиме осаждения пыли в воздухе; б — в режиме увлажнения поверхности за счет “стелющего” эффекта

Общая длина пылящих пляжей Ковдорского хвостохранилища составляет 4600 м, и стационарное расположение аэрозольных пушек вдоль всей их длины экономически нецелесообразно. Попеременное включение пульповыпусков вызывает попеременное пыление участков массива, что позволяет уменьшить количество аэрозольных пушек путем внедрения передвижного комплекса аэрозольного пылеподавления.

Пример установки такого типа — комплекс пылеподавления Амур-МКТ DS60, в котором транспортным средством является буксируемый автомобильный прицеп и автомобиль газоздушного тушения АГВТ [3], применяемый также для обработки пылящих поверхностей.

Общие недостатки этих устройств: 1) малый объем перевозимой воды на борту в связи с невысокой грузоподъемностью колесных шасси (до 10 т — для трехосного грузового автомобиля ЗИЛ-133, который может быть использован в качестве тягача), что создает необходимость постоянного пополнения запаса от близлежащего водоема; 2) невозможность работы аэрозольной пушки при движении транспортного средства для равномерной последовательной обработки всей площади массива; 3) невозможность автоматизации процесса перемещения колесных транспортных средств.

Предложен передвижной комплекс аэрозольного пылеподавления на рельсовом ходу (рис. 2), который представляет собой железнодорожную платформу 3, на которой расположена аэрозольная пушка-туманообразователь 10, смонтированная на устройстве наведения 11, также установлены генератор электрического тока 5, насосная станция 8, компрессорная станция 9, водная цистерна 2 для обеспечения водой аэрозольной пушки-туманообразователя, приводной двигатель 4 для перемещения железнодорожной платформы и электронный блок управления контролем 6. На рельсовом пути смонтированы пассивные радиочастотные метки 1, а на платформе — устройство 12, считывающее метки, и приемно-передающее устройство 7.

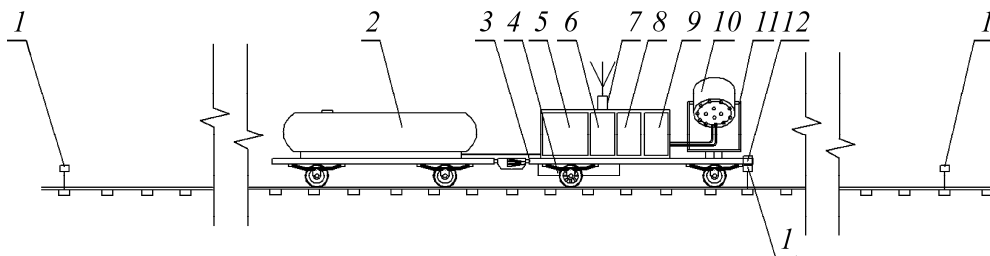


Рис. 2. Передвижной комплекс аэрозольного пылеподавления

Железнодорожная платформа с помощью приводного двигателя в автоматическом режиме передвигается по рельсовому пути, расположенному вдоль пылящего массива, пассивные радиочастотные метки используются для координации движения. На основе данных производственного мониторинга, получаемых со стационарных постов либо с помощью дистанционного зондирования [4], определяется последовательность и интенсивность обработки участков массива, по которой, в свою очередь, выбирается расход воды в аэрозольной пушке и скорость проезда комплекса вдоль обрабатываемого участка. Таким образом, комплекс позволяет в автоматическом режиме проводить пылеподавление участков с наибольшим пылевыделением, а использование рельсового хода — увеличить запас перевозимой воды (до 28 т — для узкоколейного вагона-цистерны ВЦ20, до 70 т — для вагона-цистерны 15–150 т с возможностью добавления вагонов) и уменьшить периодичность пополнения цистерны.

Существенный недостаток аэрозольных пушек-туманообразователей — повышенные требования к качеству воды. Связано это с тем, что для диспергирования жидкости в аэрозольных пушках применяются гидравлические форсунки, высокая степень диспергирования в которых достигается за счет повышения давления жидкости до 1–5 МПа и уменьшения диаметра выходного отверстия до 0.2–0.05 мм, выполненного способом лазерной прошивки. Распылители такого типа подвержены абразивному износу в связи с малым диаметром проходного сечения и высоким давлением, а конструкция не позволяет регулировать сечение выходного отверстия, что создает необходимость частой замены форсунок. Степень диспергирования воды не влияет на эффективность пылеподавления при обработке поверхности массива, но является опреде-

ляющим показателем эффективности пылеподавления в воздухе, т. е. в случае использования комплекса в режиме увлажнения запыленного воздуха [5, 6]. Согласно [7], наибольшая эффективность пылеподавления в воздухе достигается при совпадении размера капель аэрозоля с размером пылинок.

Высокая степень диспергирования жидкости может быть достигнута без увеличения давления воды путем введения дополнительно газовой фазы и распыления в потоке сжатого воздуха. Этот принцип реализован в форсунке [8, 9]. В пневмогидравлических форсунках такого типа разгон и турбулентное завихрение осуществляются только с газовой фазой, после чего в поток воздуха вносится жидкость через кольцевое отверстие. В конструкции форсунки заложена возможность регулирования кольцевой щели для подачи воды по мере увеличения сечения щели в результате абразивного износа. Исследования [9] показали, что предложенное устройство распыления позволяет улавливать аэрозоль со средним размером капель 100 мкм, что соответствует размеру мелкодисперсной пыли, причем в результате оптимизации конструкции расход воды доведен до 30 мл/с [10].

Разработка форсунки велась для условий применения на объектах конвейерного транспорта. Пылеподавление достигалось путем увлажнения поверхности транспортируемого материала и отчасти путем осаждения уже взметанной пыли. Следующий этап работы — определение эффективности пылеподавления в воздухе с использованием предложенной форсунки. В данном исследовании не рассматривались величина удельного пылесудования с поверхности хвостохранилищ и условия, влияющие на эту величину (они описаны в [11]). Оценка эффективности проводилась по фактической запыленности, создаваемой в лабораторных условиях.

Для экспериментов в воздухе применялся бункер пылеподавления БПП № 001 [12], изготовленный в Санкт-Петербургском горном университете (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальная установка на базе бункера пылеподавления БПП № 001

Передвижной комплекс аэрозольного пылеподавления разрабатывался для условий ОАО “Ковдорский ГОК”, поэтому в качестве пылящего компонента выбирались высушенные хвосты, отобранные в пляжной зоне Ковдорского хвостохранилища. Гранулометрический состав хвостов, определенный с помощью анализатора частиц HORIBA LA-950 ЦКП Горного университета, представлен на рис. 4.

Эксперименты выполнялись в лабораторном помещении с промежуточным проветриванием для минимизации накоплений пыли и распыленной влаги. Через сквозное отверстие в нижней части бункера нагнетался воздух. Форсунка пылеподавления устанавливалась внутри бункера таким образом, чтобы ее факел перекрывал отверстие для подачи воздуха. В поток воздуха с некоторой интенсивностью вносилась пыль. На выходе бункера замерялась концентрация пыли “без пылеподавления” и с включенной форсункой. По отношению полученных значений концентрации пыли с исключением фона определялась эффективность работы устройства. Результаты экспериментов представлены зависимостью снижения пылепереноса от его интенсивности (рис. 5).

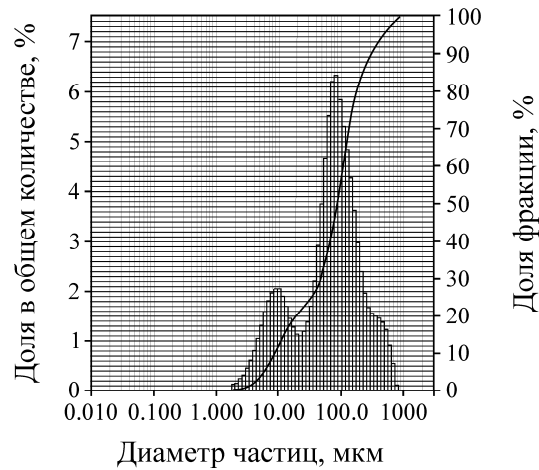


Рис. 4. Распределение крупности частиц отходов в пляжной зоне хвостохранилища ОАО “Ковдорский ГОК”

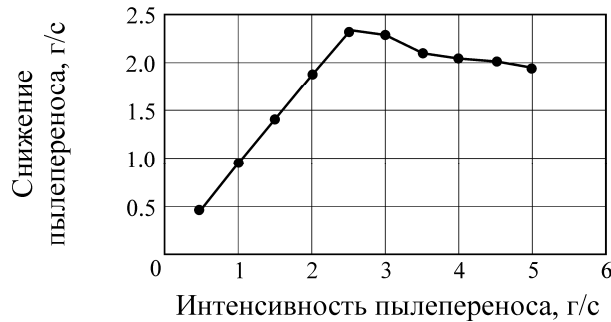


Рис. 5. Зависимость снижения пылепереноса от его интенсивности в бункере пылеподавления при испытании одной форсунки

Полученная зависимость может быть объяснена следующим образом. При подаче пыли с минимальной интенсивностью 0.5 г/с некоторое количество тонкодисперсной пыли (размер частиц менее 10 мкм) не подвергается смачиванию, проникает между каплями водного аэрозоля, создаваемого форсункой, и на выходе фиксируется пылемером. При этом значительная часть мелкодисперсной пыли увлажняется и осаждается в бункере, за счет чего и достигается высокое значение эффективности. При увеличении интенсивности подачи пыли по-прежнему большая часть мелкодисперсной фракции подавляется, но увеличивается количество неподверженной увлажнению тонкодисперсной пыли, что приводит к незначительному уменьшению эффективности. Такая тенденция сохраняется при увеличении интенсивности пылепереноса до 2.5 г/с, причем на этом участке зависимость близка к линейной. При увеличении интенсивности подачи пыли более 2.5 г/с наблюдается резкое снижение эффективности, обусловленное тем, что создаваемого аэрозоля становится недостаточно для улавливания мелкодисперсных частиц.

По результатам проведенных исследований для расчета необходимого количества форсунок выбрана интенсивность пылепереноса 2.5 г/с, при которой эффективность составила 93 %.

## ВЫВОДЫ

Разработан передвижной комплекс аэрозольного пылеподавления площадных источников пылевыделения, который дает возможность обрабатывать участки массива, характеризующиеся наибольшей интенсивностью пылевыделения.

Использование рельсового хода позволяет полностью автоматизировать процесс пылеподавления, уменьшить количество необходимых аэрозольных пушек по сравнению со стационарным вариантом, а также увеличить массу транспортируемого запаса воды.

Установлена зависимость эффективности пылеподавления от интенсивности пылепереноса и найдено значение массы пыли, подавляемой одной форсункой в единицу времени, при котором снижение пылепереноса будет максимальным, на основе чего можно рассчитать необходимое количество форсунок для применения в аэрозольной пушке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. А., Борисов В. Г. Расчет пленок из битумной эмульсии на ветровую нагрузку // ФТПРПИ. — 1975. — № 1. — С. 51–57.
2. Интернет-ресурс <http://ua.bizorg.su/teplitsy-promyshlennye-r/p6300576-tumanoobrazovately>.
3. Интернет-ресурс <http://helpiks.org/4-3194.html>.
4. Опарин В. Н., Потапов В. П., Гиниятуллина О. Л., Андреева Н. В., Счастливец Е. Л., Быков А. А. Оценка пылевого загрязнения атмосферы угледобывающих районов Кузбасса в зимний период по данным дистанционного зондирования Земли // ФТПРПИ. — 2014. — № 3. — С. 120–137.
5. Rüger M., Hohmann S., Sommerfeld M., and Kohnen G. Euler/Lagrange calculations of turbulent sprays: the effect of droplet collisions and coalescence, *Atomization and Sprays*, 2000, No. 10. — P. 47–81.
6. Lefebvre A. H. *Atomization and Sprays*, Hemisphere, New York, 1989. — 421 p.
7. Бульбашев А. П., Гаспарьян Н. А., Ковшов С. В., Никулин А. Н., Смирнов Ю. Д., Шувалов Ю. В. Организация добычи полезных ископаемых в карьерах со сложными условиями труда горнорабочих. — СПб.: МАНЭБ, 2009 — 464 с.
8. Пат. № 2446021 РФ. Форсунка для пылеподавления / М. А. Пашкевич, Ю. Д. Смирнов, А. В. Иванов, О. С. Добрынин, А. А. Бульбашев // Оpubл. в БИ. — 2012. — № 9. — С. 1–6.
9. Иванов А. В., Смирнов Ю. Д., Капранов И. Е. Исследование процессов диспергирования жидкости при работе форсунок пылеподавления // Учен. зап. РГГМУ. — 2012. — Т. 25. — С. 26–35.
10. Ivanov A. V., Smirnov Y. D., Korelskiy D. S. Simulation of the crushing, Agglomeration drops for approach and development of dust control systems devices, *Int. J. Ecology and Development*, 2014; Vol. 28, No. 2; *Int. J. Ecol. and Dev., India*, 2014 (Scopus). — P. 9–17.
11. Михайлов В. А., Бересневич П. В., Борисов В. Г., Лобода А. И. Борьба с пылью в рудных карьерах. — М.: Недра, 1981. — 262 с.
12. Иванов А. В., Смирнов Ю. Д. Определение оптимальных параметров пневмогидравлической форсунки для наиболее экономичного и эффективного пылеподавления // Зап. Горного института. — 2013. — Т. 203. — С. 94–103.

*Поступила в редакцию 11/1 2016*