

Ю.Д.СМИРНОВ, канд. техн. наук, ассистент, qwerik84@gmail.com

С.В.КОВШОВ, канд. техн. наук, ассистент, kovshovsv@mail.ru

А.В.ИВАНОВ, студент, andrey-racer@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Y.D.SMIRNOV, PhD in eng. sc., assistant lecturer, qwerik84@gmail.com

S.V.KOVSHOV, PhD in eng. sc., assistant lecturer, kovshovsv@mail.ru

A.V.IVANOV, student, andrey-racer@mail.ru

Saint Petersburg State Mining University

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО ПЫЛЕПОДАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УСЛОВИЙ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ

В районе размещения предприятий минерально-сырьевого комплекса, и особенно в районах размещения отвалов, в результате массовых выбросов пыли в окружающую среду складывается неблагоприятная экологическая обстановка и растет уровень пылевой нагрузки на организм работника. Рассмотрен способ пылеподавления, основанный на механическом улавливании взвешенных частиц снегом, на фильтрующем и экранирующем действии снега.

Ключевые слова: форсунка, пылеподавление, сопло Лаваля, туман, снег.

WORKING OUT INNOVATIVE DUST CONTROL DEVICES FOR CONDITIONS OF NORTHERN REGIONS

Around placing of the enterprises of a mineral complex, and especially in areas of placing of sailings, as a result of mass emissions of a dust in environment there are adverse ecological conditions, and also, level of dust loading on an organism of the worker increases. In article the way of dust control, based on mechanical catching of the weighed particles by snow, on filtering and shielding action of snow is considered.

Key words: sprayer, dust control, Laval nozzle, mist, snow.

Горно-добывающая промышленность России и ее будущее неразрывно связаны с освоением труднодоступных, сложных по географическим, природно-климатическим условиям регионов, преимущественно северных. Существенным недостатком горно-добывающих предприятий являются значительные нарушения и загрязнения атмосферы выбросами пыли. В районе размещения горных предприятий, особенно в районах размещения отвалов, в результате массовых выбросов пыли в окружающую среду складывается неблагоприятная экологическая обстановка, имеющая тенденцию к дальнейшему ухудшению вследствие наращивания производственных мощностей.

Источниками пылеобразования, как при ведении работ, так и после прекращения деятельности предприятия, являются различные технологические процессы, отвалы, пляжные зоны хвостохранилищ и эрозионные зоны. Сложность проблемы определяется тем, что предприятия работают в различных горно-геологических условиях и отрабатывают полезные ископаемые и вмещающие породы с различными физико-механическими свойствами и минералогическими составами. Кроме того, при ведении горных работ образуется и выделяется тонкодисперсная пыль со специфическими свойствами, нейтрализация которой требует дифференцированного подхода. Важным

фактором является вредное действие пыли на организм человека. Наиболее сложные условия труда по пылевому фактору создаются зимой – при отрицательных температурах воздуха [2]. Запыленность воздуха увеличивается с понижением температуры воздуха.

Пыль, находящаяся в воздухе, может оказывать негативное действие на глаза человека, а, попадая в организм вместе с вдыхаемым воздухом, приводит к возникновению пневмокониозов – пылевых заболеваний легких. Из присутствующих в воздухе примесей только пыль обладает выраженным кумулятивным воздействием на организм человека. Она обладает способностью накапливаться в организме с постепенным наложением первоначально незначительных изменений. При вдыхании запыленного воздуха часть пыли задерживается слизистой оболочкой дыхательных путей и вызывает воспалительные процессы носоглотки и бронхов. Попадая в легкие, пыль оседает там, превращаясь с течением времени в фиброзную легочную ткань, которая не участвует в процессе обмена кислорода и углекислого газа [3].

Наиболее опасной является пыль с острыми режущими краями, которая легко проникает в слизистую оболочку и травмирует ее. Наиболее вредными являются частицы крупностью менее 10 мкм, которые задерживаются верхними дыхательными путями, и частицы крупностью 0,5-5 мкм, которые задерживаются в легких. Частицы крупностью менее 0,2-0,3 мкм удаляются из легких вместе с выдыхаемым воздухом [4].

Пылевыми съемками на горных предприятиях, ведущих добычу открытым способом, установлено, что в зимний период года очистка загрязненного воздуха от вредных аэрозольных частиц происходит, в основном, за счет фильтрующего действия атмосферных осадков [5]. Физическая сущность этого процесса заключается в механическом улавливании снежинками взвешенных частиц в результате проявления сил адгезии [6].

Уровень выбросов пыли в атмосферу наиболее высок при транспортировке полезного ископаемого. Поэтому наиболее целесообразно проводить обеспыливание при транспортировке. На предприятиях мине-

рально-сырьевого комплекса чаще всего используются ленточные конвейеры.

Главным элементом разрабатываемой системы пылеподавления является форсунка. Большинство конструкций форсунок не имеют средств обеспечения работоспособности в зимний период времени. Например, предложен ороситель, включающий шарообразный корпус с диаметрально-расположенным каналом, распределитель с каналом и форсунка с завихрителем. Для повышения эффективности пылеподавления за счет регулирования угла раскрытия факела и расхода жидкости в корпусе выполнены глухие каналы, параллельные диаметральному каналу со стороны канала распределителя. Завихритель выполнен в виде жестко соединенного с корпусом форсунки стакана, стенки которого имеют тангенциальные каналы, соединяющие камеру завихрения с глухими каналами [7].

Для распыления жидкости используется специальная установка для аэрозольирования. Она включает в себя цилиндрическую емкость, в которой над поверхностью жидкости с возможностью их поворота относительно горизонтальной плоскости установлены эжекторные распылители, содержащие камеру с соплом, в которую введены патрубки подвода жидкого распыляемого материала и воздуха, причем патрубки подвода воздуха размещены в камере тангенциально, а сами распылители установлены таким образом, чтобы выходящий из него поток был направлен хордоидально относительно стенки цилиндрической емкости, причем проекция центральной оси факела аэрозоля на стенки цилиндра не пересекает верхнего края стенок, по крайней мере, в течение одного витка [8].

Используются также форсунки с корпусом в виде крестовины с четырьмя попарно соосными отверстиями с внутренней резьбой. Отверстие для подачи воды и отверстие для подачи пара расположены также соосно и снабжены ввинчивающимися пробками, имеющими сегментный срез на всю толщину пробки, расположенный параллельно имеющемуся в пробках шлицу под отвертку. В одно из горизонтальных отверстий ввинчена торцевая пробка с ввинченным в нее осе-

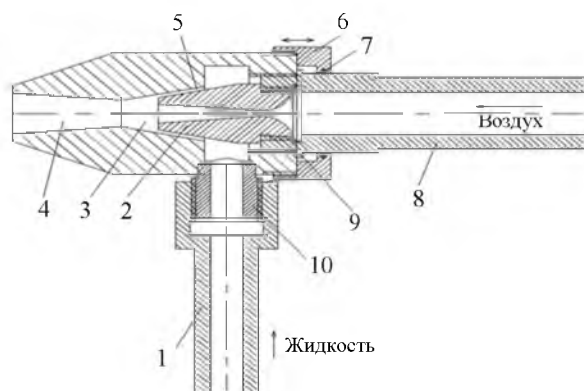


Рис. 1. Пневмогидравлическая форсунка

вым стержнем. На противоположном конце стержня имеется гайка для регулирования факела, выполненная в виде конуса с наружным периферийным круговым бортиком, расположенным под углом к плоскости конуса гайки. Конусность этой гайки соответствует конусности выходного отверстия сопловой гайки, ввинченной в выходное горизонтальное отверстие. Необходимая степень очистки достигается регулированием величины щелевого канала, образованного между двумя конусами на выходе из форсунки [9].

На большинстве предприятий минерально-сырьевого комплекса для пылеподавления используется форсунка простой конструкции. Распыление жидкости осуществляется посредством столкновения направленной струи жидкости с рассеивателем. Струя, ударяясь о рассеиватель, расходится во множество мелких струек, распределенных по всему периметру рассеивателя. Такое распыление не обладает достаточной дисперсностью для эффективного пылеподавления.

Общими недостатками устройств распыления жидкости являются их непригодность к условиям северных регионов и недостаточное диспергирование жидкости.

В условиях отрицательных температур при недостаточном диспергировании жидкости ее частицы образуют наледь. Наледь образуется на выходящем сопле форсунки и препятствует выходу жидкости. Остановка работы форсунки и очистка наледи в условиях отрицательных температур невозможна, так как трубопроводы для подачи воды замерзают.

Кроме того, наледь образуется и на ленте конвейера, что на наклонных конвейерах ухудшает сцепление полезного ископаемого и ленты конвейера и использование конвейера становится недопустимым.

В Санкт-Петербургском государственном горном университете была разработана инновационная форсунка. В основе ее работы лежит пневмогидравлическое распыление жидкости.

Форсунка для пылеподавления (рис. 1) содержит корпус, канал для подачи газа, расположенное с ним на одной оси сопло Лавалья и полость с входным и выходным каналами для жидкости, а также механические сопротивления, расположенные на корпусе и штуцере подачи воздуха и позволяющие изменять ширину кольцевой щели для подачи жидкости в интервале от 0,5 до 3 мм вращением штуцера для подачи жидкости, обеспечивая эффективное пылеподавление снегом при крайнем положении сопла Лавалья относительно выходного отверстия форсунки при температуре ниже 3 °С и пылеподавление диспергированной жидкостью при крайнем положении сопла Лавалья относительно штуцера для подачи жидкости при температуре выше 3 °С. При работе форсунки в условиях отрицательных температур окружающей среды в результате конусного сужения между внешней стенкой сопла Лавалья и внутренней стенкой смесительной камеры возникают аэродинамические сопротивления, которые обеспечивают дополнительное пневмогидравлическое дробление капель жидкости и предохраняют форсунку от возможного замерзания. В качестве рабочей жидкости для повышения эффективности пылеподавления может быть использована вода, ионизированная вода, смесь воды с различными добавками.

Форсунка для пылеподавления работает следующим образом. Жидкость под давлением по каналу 1 через радиальную выточку 10 и кольцевую щель 5 шириной S поступает в смесительную камеру 3, куда одновременно через штуцер 8 подается охлажденный в сопле Лавалья 2 сжатый воздух. В смесительной камере жидкость подвергается распылению и первичному охлаждению, а затем образовавшаяся водовоздушная смесь,

проходя через диффузор 4, охлаждается вторично. Сжатая смесь в виде отдельных капель жидкости, проходя через кольцевую щель, ускоряется в ней до сверхзвуковых скоростей и в конце расширения оказывается в состоянии перенасыщения, обусловленного выделением скрытой теплоты парообразования при конденсации. На штуцере 8 для подачи воздуха имеется ограничительный бурт 9, а на корпусе форсунки выполнена наружная резьба, предназначенная для закручивания регулировочной гайки с внутренним уступом 6 и кольцевым резиновым уплотнением 7, позволяющая изменять ширину кольцевой щели для подачи воды в интервале $S = 0,5-3$ мм вращением штуцера для подачи жидкости, что обеспечивает эффективное пылеподавление снегом при крайнем левом положении сопла Лавала относительно выходного отверстия форсунки при температуре ниже 3°C и пылеподавление диспергированной жидкостью при крайнем правом положении сопла Лавала относительно штуцера для подачи жидкости при температуре выше 3°C .

При пылеподавлении снегом снежинки действуют как фильтрующий и экранирующий элемент зоны пылеподавления. Практически очаг пылевыведения изолируется снежным заслоном со всех сторон. Из витающих в воздухе пылевых частиц образуются центры кристаллизации, и водяные капли, сталкиваясь с ними, моментально замерзают, образуя искусственный снег. Так, при работе форсунки в течение 10 мин при температуре окружающей среды -3°C , расходе воздуха $0,25\text{ м}^3/\text{мин}$, расходе воды $1,2\text{ м}^3/\text{ч}$ коэффициент снегообразования достигает 0,85, а масса полученного снега – 4,25 кг. При аналогичных технических условиях при той же температуре коэффициент снегообразования 0,55. Диаметр сопла Лавала может изменяться в интервале 1-5 мм, что позволяет получать капли жидкости диаметром 50-200 мкм.

Форсунка для пылеподавления обеспечивает устойчивое образование мелкодисперсных жидкостных завес при температуре выше 3°C и снегообразование при температурах ниже 3°C воздуха на расстоянии от 0,5 м до сопла форсунки и направленное движение струи конусообразной формы с



Рис. 2. Карта распределения термодинамических параметров в зоне работы пневмогидравлической форсунки
1, 2 и 3 – зоны температур; 0, -1 и -2°C соответственно;
4 – зона наиболее эффективного снегообразования

углом раскрытия $10-15^\circ$ на расстояние до 7-10 м. Регулирование кольцевой щели и соответственно толщины потока жидкости способствует эффективному снегообразованию при отрицательных температурах окружающей среды.

Карта распределения термодинамических параметров в зоне работы пневмогидравлической форсунки представлена на рис.2.

Для пылеподавления на конвейерах обычно устанавливается специальный бункер с целью нераспространения снега и пыли, сдуваемой за счет движения конвейера. Форсунка устанавливается на бункер таким образом, что пылеподавление происходит внутри бункера на проходящей по конвейеру породе.

На технической базе Санкт-Петербургского государственного горного университета был изготовлен экспериментальный бункер пылеподавления. Его отличительные особенности – возможность изменения высоты бункера, наличие нескольких точек крепления форсунки и продувок в нижней части для имитации работы конвейера.

Бункер пылеподавления позволяет смоделировать практически любые условия окружающей среды и любую скорость движения конвейера. Снежный (водяной) факел форсунки может быть направлен в любую точку бункера. Угол падения снега (диспергированной воды) может быть отрегулирован с учетом скорости движения воздуха

внутри бункера и завихрений воздуха. Форсунка может быть установлена с расчетом на направленный поток снега (диспергированной воды) или на самопроизвольное оседание снега (диспергированной воды). Высота бункера меняется установкой различных комбинаций съемных стенок и может быть отрегулирована с учетом расстояния снегообразования (мелкодисперсного диспергирования воды).

Для учета расхода воды используется бытовая счетчик воды, а расход воздуха определяется в соответствии с параметрами компрессорной установки.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Правительства Санкт-Петербурга, Центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета и американского фонда гражданских некоммерческих исследований CRDF.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агранат Г.А. Возможности и реальности освоения Севера: глобальные уроки. М., 1992.
2. Лебедев Г.П. Методические подходы к комплексной оценке ущерба здоровью, наступившего под влиянием неблагоприятных факторов среды обитания / Г.П.Лебедев, В.Л.Филиппов // Медицина труда и промышленная экология. 1993. № 7-8.
3. Шувалов Ю.В. Рациональная организация добычи полезных ископаемых в карьерах со сложными условиями труда горнорабочих / Ю.В.Шувалов, Ю.Д.Смирнов, А.П.Бульбашев, Н.А.Гаспарьян, С.В.Ковшов, А.Н.Никулин. СПб, 2009.

4. Шувалов Ю.В. Теоретические основы конденсационного увлажнения и подавления пыли // Ю.В.Шувалов, В.А.Белозеров // Физические процессы горного производства. СПб, 1992.

5. Шишкин Н.С. Облака, осадки и градовое электричество. Л., 1964.

6. Пат. 1195728 РФ, МПК⁷ E21F5/04. Ороситель / В.Н.Колосов, М.Д.Брагинский, М.В.Сафонов, А.К.Ильин, А.Г.Ищук, Я.Седлачек. Опубл. 20.04.2000. Бюл. № 5.

7. Пат. 2008125423 РФ, МПК B05B1/00. Установка для аэрозольирования / В.М.Глушенко, Е.Н.Свентицкий, Ю.Н.Толпаров. Опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5.

8. Пат. 2011426 РФ, МПК⁵ B05B1/08. Способ импульсного распыления жидкости и устройство для его осуществления / А.И.Иголкин, В.К.Томасев, В.С.Павлов, В.И.Козлов. Опубл. 30.04.1994. Бюл. № 12.

REFERENCES

1. Agranat G.A. Possibilities and realities of development of the North: global lessons. Moscow, 1992
2. Lebedev G.P., Philippov V.S. Methodical approaches to a complex estimation of a damage to the health which has come under the influence of adverse factors of an inhabitancy // Medicine of work and industrial ecology. 1993. N 7-8.
3. Shuvalov U.V., Smirnov U.D., Bulbashev A.P., Gasparian N.A., Kovshov S.V., Nikulin N.A. The rational organisation of mining operations in open-cast mines with difficult working conditions of miners. Saint Petersburg, 2009.
4. Shuvalov U.V., Belozarov V.A. Theoretical bases condensation humidifying and dust suppressio // Physical processes of mountain manufacture. Saint Petersburg, 1992.
5. Shishkin N.S. Clouds, deposits and hailstones an electricity. Leningrad, 1964.
6. Pat. 1195728 RU, MPK⁷ E21F5/04. Sprinkler / V.N.Kolosov, M.D.Braginskiy, M.V.Safonov, A.K.Ilin, A.G.Ishuk, Y.Sedlachek. Publ. 20.04.2000. Bul. N 5.
7. Pat. 2008125423 RU, MPK B05B1/00. Installation for dispersion / V.M.Glushko, E.N.Sventitskiy, Y.N.Tolparov. Publ. 20.02.2010. Bul. N 5
8. Pat. 2011426 RU MPK⁵ B05B1/08. Way of pulse dispersion of a liquid and the device for its realization / A.I.Igolkin, V.K.Tomaev, V.S.Pavlov, V.I.Kozlov. Publ. 30.04.1994. Bul. N 12.