

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Гого В.Б., Сыроватченко В.А., Михайлов А.И., Патокин Р.В.
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
пл. Шибанкова, 2, 85300, г. Покровск, Донецкая область
kafe_pn@i.ua

Изложены закономерности возникновения экологических проблем из-за техногенных выбросов пыли в атмосферу поверхностного комплекса угольной шахты, а также определены условия образования теплового пылевого шахтного колпака, создающего негативные и опасные действия на рабочих шахты и окружающую среду. *Ключевые слова:* экология, угольная шахта, поверхностный комплекс, пыль, атмосфера, шахтный пылевой колпак.

Екологічні проблеми поверхневих комплексів вугільних шахт. Гого В.Б., Сыроватченко В.О., Михайлов О.І., Руслан Вячеславович Патокин Р.В. Викладено закономірності виникнення екологічних проблем через техногенні викиди пилу в атмосферу поверхневого комплексу шахти, а також визначені умови утворення теплового пилового шахтного ковпака, що справляє негативні і небезпечні дії на робочих шахти і навколишнє середовище. *Ключові слова:* екологія, вугільна шахта, поверхневий комплекс, пил, атмосфера, шахтний пиловий ковпак.

Environmental problems of surface complexes and their solutions. Gogo V.B., Syrovatchenko V.O., Mykhailov O.I., Patokin R.V. The regularities of the emergence of environmental problems through man-made dust emissions into the atmosphere of the surface complex of the mine are outlined, as well as the conditions for the formation of a thermal dust mine cap, which creates negative and dangerous effects on the working mines and the environment. *Key words:* ecology, coal mine, surface complex, dust, atmosphere, mine dust cap.

Постановка проблемы обусловлена сложной технико-экономической, социальной и научно-технической реальностью, что сложилась в Украине, и негативно влияет на состояние топливно-энергетической отрасли, особенно угольных шахт Северо-Западного Донбасса. Трудности бюджетного финансирования шахт на приобретение современных механизированных очистных и проходческих комплексов, оснащенных средствами подавления пыли, требуют от ученых, конструкторов и технологов решать возникающие от пыли проблемы экологии, безопасности и охраны труда, как для условий горных выработок, так и поверхности шахты.

В связи с этим цель статьи – решение научной задачи выявления закономерностей распространения аэрозольной технологической угольно-породной (рудничной) пыли в атмосфере поверхностного комплекса шахты. Основное задание состоит в описании действия механизмов негативного влияния на экологическую обстановку и условия труда рабочих шахты газопылевых выбросов, а также научно-техническое обоснование эффективных решений этой проблемы, что указывает на актуальность и научно-практическую значимость всего исследования.

Изложение основного материала. Известно, что современная угольная шахта Донбасса в течение суток выбрасывает главным вентилятором вентиляционной системы примерно 1 т аэрозольной пыли и столько же пыли более крупных фракций в составе

рудничного воздуха [1; 2]. Эта пыль, в зависимости от метеоусловий, осажается на территории поверхности шахты и ближних районов.

Исследуем влияние скорости ветра на процесс осаждения пыли (твердых частиц) на поверхности шахтного комплекса от стационарного источника (S) с известными координатами. Принимаем модель процесса: масса отходящего воздуха содержит пыль, частицы которой одного размера (например, 10^{-5} м) с нулевой начальной скоростью. Скорость ветра на высоте выброса является постоянной по величине и направлению. Необходимо аналитически и графически определить площадь осаждения пыли, ее конфигурацию, а также закономерности происходящего.

Принимаем, что траектории частиц пыли представляют прямые линии, наклон которых к горизонтальной оси, направленной к ветру, равен отношению скорости падения частицы пыли к скорости ветра. Расстояние смещения по горизонтали частицы определим из соотношения:

$$\frac{Z_1}{U} = \frac{x_1}{c}, \quad (1)$$

где Z_1 – высота начального расположения частицы в выбросе;

x_1 – расстояние смещения частицы по горизонтали;

U – скорость падения частицы по вертикали;

c – скорость атмосферного ветра на высоте выброса пыли.

Предполагаем, что исследуемая масса выбросов запыленного воздуха состоит из разнородных частиц, а скорость ветра переменная. Будем считать, что скорость ветра в слое воздуха, в котором происходит выброс, известная и переменная (например, на основе сезонных прогнозов). Учитывая это, принимаем, что атмосферный слой воздуха по вертикали в слое 100 м имеет подслои равной толщины, например по 10 м. В пределах этих подслоев скорость и направление ветра постоянные. Проанализируем процесс оседания твердых частиц пыли с учетом их скорости падения, в зависимости от размеров и высоты выброса.

С позиций кинематики процесса движения частиц, выброшенных в первом воздушном слое, и оседания их на поверхности шахты, они оставят след по направлению вектора скорости атмосферного ветра в этом слое по схеме, приведенной на рис. 1.

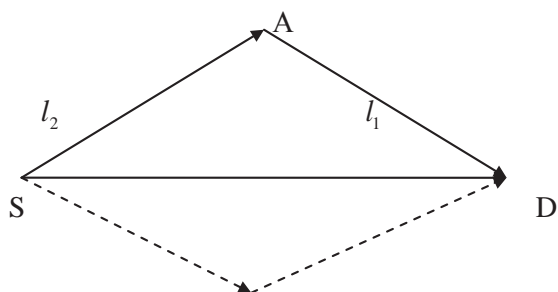


Рис. 1. Схема для определения следа осаждения частиц пыли

Тогда длина следа выпавших частиц пыли на поверхности составит:

$$l_1 = c_1 \Delta t_1 = \Delta z_1 \frac{c_1}{u_1}.$$

К концу интервала времени \$\Delta t_2\$ частицы пыли второго слоя сместятся по горизонтали на расстояние, которое будет равным \$l_2\$:

$$l_2 = c_2 \Delta t_2 = \Delta z_2 \frac{c_2}{u_2}.$$

В течение времени \$\Delta t_1\$ частицы пыли второго слоя переместятся по горизонтали в направлении вектора скорости \$c_1\$. К концу интервала времени \$(\Delta t_2 + \Delta t_1)\$ частицы второго слоя осядут на землю.

Следовательно, чтобы определить положение частиц, осевших на поверхность из второго слоя, нужно сложить векторы \$c_2 \Delta t_2\$ и \$c_1 \Delta t_1\$.

Следовательно, вектор \$\overline{SD}\$ будет равен:

$$\overline{SD} = \overline{c_1 \Delta t_1} + \overline{c_2 \Delta t_2}.$$

Этот же результат получим, если от источника пыли S сначала отложим вектор \$\overline{SB}\$, а затем сложим его с вектором \$\overline{BD}\$, т.е.

$$\overline{SD} = c_2 \overline{\Delta t_2} + c_1 \overline{\Delta t_1}.$$

Отметим, что в точке, к примеру, B осядут пылинки, которые находились на верхней границе

первого воздушного слоя. Для определения положения произвольной точки \$B_i\$ на земной поверхности, в которой осядут другие частицы, находящиеся в начальный момент на верхней границе \$i\$-го слоя, необходимо сложить векторы так, чтобы начало первого располагалось в точке, соответствующей центру источника пыли S.

Для частиц пыли иного радиуса направление движения в каждом слое считаем таким же, как и в первом случае. Однако заметим, что вектор следа для более крупной частицы будет уменьшаться по модулю.

Кроме этого, предполагаем, что твердые частицы имеют известные минимальные и максимальные размеры, что отражается через \$r'\$ и \$r''\$ – соответственно, наибольший и наименьший радиусы частиц. Обозначим через \$u'\$ и \$u''\$, соответственно, скорости выпадения этих частиц. Выбираем слои так, чтобы время выпадения частиц пыли было одинаковое в каждом слое, то есть:

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= \Delta t_2 = \dots \Delta t_i = \Delta t; \\ \Delta t'_1 &= \Delta t'_2 = \dots \Delta t'_i = \Delta t'; \\ \Delta t''_1 &= \Delta t''_2 = \dots \Delta t''_i = \Delta t''. \end{aligned}$$

Очевидно, что \$\Delta t \neq \Delta t' \neq \Delta t''\$. Перемещение пыли минимального радиуса по горизонтали за время \$\Delta t'_i\$ равно \$c_i \Delta t'_i\$. Поскольку вектор \$\overline{SB} = l_1\$, то будем иметь:

$$c_1 \Delta t' = c_1 \Delta t \frac{\Delta t'}{\Delta t} = \overline{SB} \frac{\Delta t'}{\Delta t}.$$

Увеличивая вектор \$\overline{SB}\$ в \$\frac{\Delta t'}{\Delta t}\$ раз, определим положение точки \$B'_1\$, в которой осядут частицы пыли радиуса \$r'\$, находящиеся в начальный момент времени на верхней границе слоя \$\Delta z_1\$.

Аналогичное исследование проведем и для нахождения точек \$B'_2, B'_i, \dots B'_i\$. Построенная таким образом линия \$OB'_1 B'_2 B'_3 \dots B'_i\$ характеризует след частиц пыли, выпавших из анализируемого слоя. Изменяя векторы \$\overline{SB}\$ в \$\frac{\Delta t''}{\Delta t}\$ раз, получим след \$OB''_1 B''_2 B''_3 B''_4 \dots B''_i\$ оставленный частицами максимального радиуса, что отражено на рис. 2.

Изложенная модель позволяет предложить действие механизма оседания пыли на поверхности шахты: площадь выпадения пыли образуется ограниченными линиями следов, которые находились в каждом слое воздуха, а после выпадения на поверхности они расположились, соответственно, по линии \$SB''_i B_i B'_i\$.

Кроме этого, распределение пыли по территории поверхности шахты в различных направлениях от централизованного источника тесно связано с термодинамическими характеристиками газообразных выбросов – вентиляционных запыленных воздушных масс и дымовых газов. Технологические процессы угольной шахты, связанные с шахтной вентиляцией и котельной, создают над её поверхно-

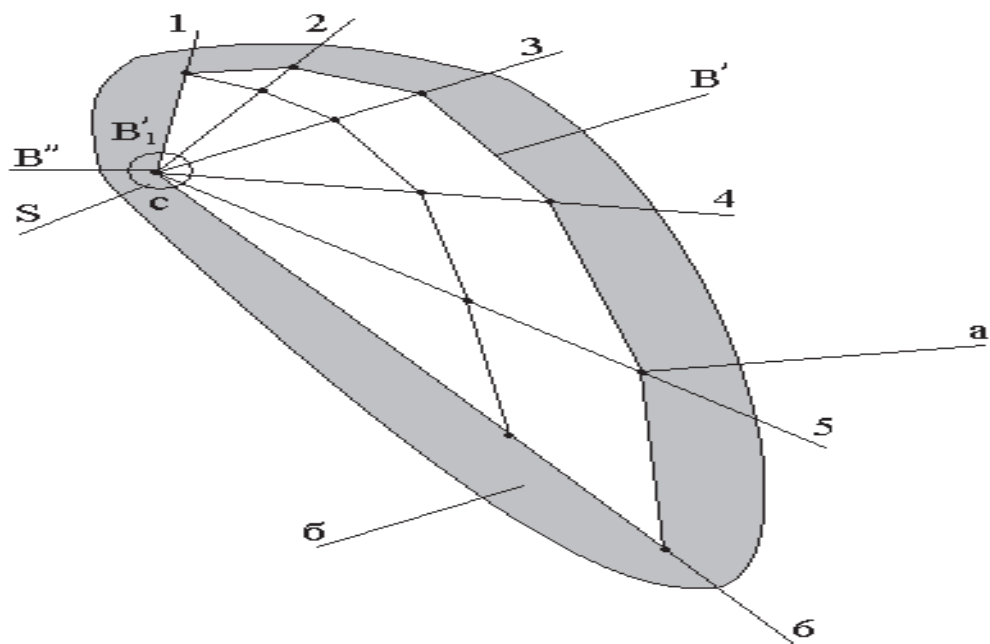


Рис. 2. Схема осаждения частиц пыли на поверхности территории шахтного комплекса от источника пыли (S): а – площадь осаждения пыли, б – площадь осаждения пыли с поправкой на турбулентную диффузию

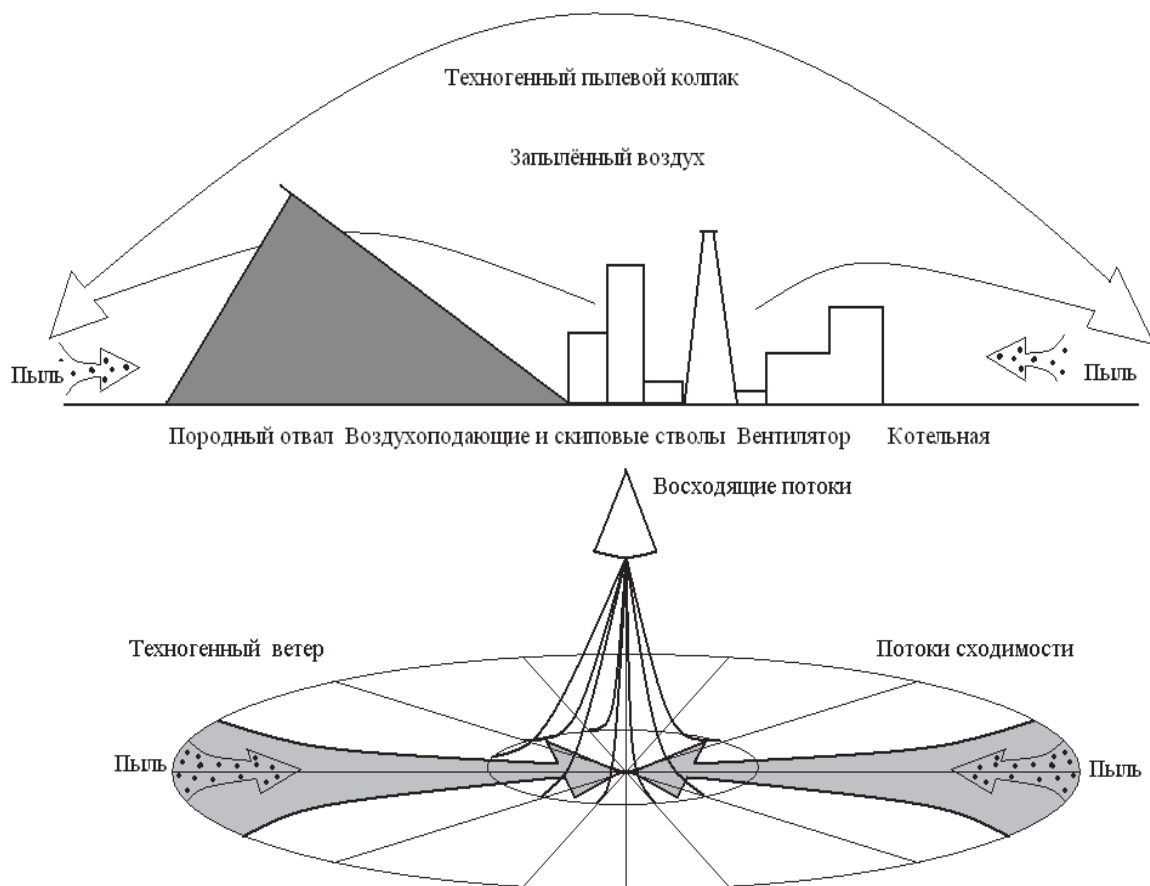


Рис. 3. Схема возникновения потоков техногенного ветра и переноса пыли под пылевым колаком над поверхностью шахты

стью интенсивные тепловые выбросы. Накопление тепловой энергии над шахтным комплексом создает своеобразный «техногенный остров тепла», который влияет на механизм рассеивания пыли, а также на состояние локального микроклимата.

Прогнозируя распределение частиц пыли, целесообразно разработать модель процесса распространения пыли от тепловых газообразных выбросов. Доля загрязнений, переносимых из одной части атмосферы района шахты в другую, может быть определена как отношение объемов переноса частиц пыли из данной координаты района в другую за установленный интервал времени к объему их перемещений вне района шахты.

Концентрация частиц пыли в газообразных тепловых выбросах шахтных источников специфически изменяется термодинамическими условиями в пространстве и во времени, являясь функцией от температурных характеристик источников и метеорологических состояний атмосферы.

Тепловые пылевоздушные выбросы рудничного воздуха вентиляции (средняя температура 30°C), а также дымовых газов шахтной котельной (130°C) создают локальные вертикальные восходящие потоки воздушных масс. Действующими силами процесса являются силы Архимеда и газодинамических эффектов. При этом в горизонтальной плоскости над поверхностью шахты происходит сходимостъ холодных воздушных течений, т.е. их специфическое движение от периферии к источнику тепловых выбросов. Эти процессы образуют техногенный ветер, скорость которого порядка 1 м/с, а механизм образования потоков показан на схеме, приведенной на рис. 3 [2].

Существенное влияние на изменение концентрации пыли в атмосфере поверхности шахты оказывают турбулентные перемещения запыленных воздушных масс, связанные с атмосферным ветром. Экспериментально определено, что наибольшие концентрации пыли и других газообразных выбросов наблюдаются в зонах расположения источников при скоростях атмосферного ветра в диапазоне (2–4) м/с [2].

Отметим, что возвратные воздушные течения над поверхностью шахты на высотах до 20–30 м являются причиной того, что в ночное время создаваемый техногенный ветер усиливается, так как температура периферийного воздуха ночью снижается больше, чем под тепловым пылевым колпаком шахты. Экспериментально определено, что этот эффект особо проявляется при скоростях атмосферного ветра 3–4 м/с.

Проанализируем особенности возвратного движения запыленных воздушных масс от периферии к источнику над поверхностью шахты под колпаком. В целом это движение носит характер периодических фронтальных тору подобных воздушных волн, у края которых наблюдаются перепады давлений (до 2–3 мм рт.ст.) и температур до (2–3°C). Также наблюдаются пульсации скорости движения потоков воздуха, втекающего в район шахты, в виде более холодных воздушных масс с периферии. Это создает подъем и перенос оседающей пыли с окраины шахты – окраины колпака в её центральную часть к источникам тепловых газообразных выбросов пыли, повышая концентрации вредных выбросов [2; 3].

Поэтому расположение других промышленных объектов на окраинах шахтного района еще сильнее усугубляет решение проблем снижения уровней загрязнений в центральной части шахты. Оседающая пыль по краям техногенного пылевого колпака, закономерно возвращается в его центральную часть, что усложняет мероприятия по обеспечению охраны труда и усиливает общую экологическую напряженность состояния поверхностного комплекса шахты.

Главные выводы. 1. Экологические проблемы, возникающие на поверхности угольной шахты, связаны с образованием техногенного колпака. 2. Распространение пыли и движение воздуха над поверхностью шахты связаны с процессами взаимодействий техногенного пылевого колпака и периферии шахты, при которых создаются возвратные движения пыли к местам их выбросов, к источникам, что обостряет экологическое состояние поверхности шахты.

3. Под шахтным техногенным пылевым колпаком формируется локальная воздушная область, содержащая технологические выбросы пыли и рудничных газов, которые создают при определенных условиях шахтный смог. Проблема усугубляется для территории, накрытой колпаком от нескольких шахт, например, района г. Покровска Донецкой области, где тесно расположены 6 угольных шахт на площади менее 100 кв. км. Тепловые газообразные выбросы этих шахт в осенний и зимний периоды создают региональный смог из конгломератов пыли и капельного аэрозольного конденсата от выбросов источников, накрытых колпаком.

4. Пыль под колпаком в сочетании со спецификой дымовых выбросов окислов серы и углерода шахтных источников, а также горящих терриконов оказывают вредное влияние на здоровье рабочих шахты и населения, что связано с ухудшением качественных характеристик воздуха и образованием негативного техногенного микроклимата.

Литература

1. Литвинский Г.Г. Стратегия развития горной промышленности. Уголь Украины. 2006. № 12. С. 3–6.
2. Гого В.Б. Явление связи сезонной заболеваемости шахтеров с пылегазовыми технологическими выбросами / В.Б. Гого, В.Б. Малеев. Наукові праці Донецького національного технічного університету. 2005. Випуск 101. С. 32–39.
3. Гого В.Б. Стратегия экологической безопасности энергоматериального производства угольных шахт. Прикладные задачи математики и механики. Севастополь: СевНТУ, 2002. С. 97–101.