

И.Е. Кокоулин, Т.В. Пономаренко, Л.А. Новиков  
**УПРОЩЕННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ  
ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ И ПЫЛЕПЕРЕНОСА В ГОРНЫХ  
ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Запропоновано комплекс спрощуючих припущень, використання яких дає можливість розробити ефективні методи моделювання процесів пилевиділення та пилопереносу у гірничих виробках вугільних шахт.

Технологический процесс добычи угля на современной шахте характеризуется применением новых высокоэффективных технологий и протекает зачастую в сложных горно-геологических условиях. В связи с этим возникают определенные труднопредсказуемые изменения процессов пылеобразования в горных выработках, а его количественные показатели превышают регламентированные Правилами безопасности нормы. Возникает задача разработки новых методов и средств пылеподавления и ограничения зоны распространения пыли по горным выработкам. В решении этой задачи важная роль принадлежит шахтной вентиляции.

Процесс образования и распространения пыли в шахтной вентиляционной сети (ШВС) может быть в наиболее общем виде описан следующим образом. В шахте присутствует ряд источников первичного пылеобразования. Это добычные и проходческие комбайны и устройства транспортирования угля и породы. Выделение пыли при их работе представляет собой непрерывный или дискретно-периодический процесс, характеристики которого могут быть достаточно точно описаны аналитически. В зависимости от скорости вентиляционного потока образующаяся пыль переносится в направлении его распространения на расстояние, определяемое указанной скоростью, величиной фракций пылеобразующего материала и т.д. При этом в участках ШВС, содержащих местные сопротивления, вследствие благоприятных условий для осаждения, может образоваться слой пыли, который в дальнейшем, в случае увеличения скорости воздушного потока, может стать источником вторичного пылевыделения за счет взметывания осевшей пыли. Аналогичная картина наблюдается и при переходе к другому вентиляционному режиму, когда изменение направления воздушных потоков приводит не только к изменению направления действия источников первичного пылеобразования, но и к возникновению источников вторичного пылеобразования. Физика описанного процесса достаточно сложна и не может быть однозначно описана аналитически. Существующие же методики расчета параметров запыленности горных выработок ориентированы на использование замерных данных, получение которых зачастую затруднительно. Разработанные рядом авторов модели процессов пылеобразования и эмпирические формулы, описывающие процесс распространения пыли турбулентным вентиляционным потоком [1-5], не дают возможности прогнозировать изменение пылевой обстановки при изменении параметров вентиляционного потока и аэродинамических свойств выработок, а входящие в предложенные расчетные формулы

эмпирические коэффициенты являются оригинальными практически для каждой шахты, а то и лавы. Поэтому перспективным направлением исследований является создание имитационных моделей пылеобразования и пылепереноса в горных выработках и разработка мероприятий по борьбе с пылью на их основе. Разумеется, это не исключает необходимости использования замерных данных, если имеется возможность их получить.

Вместе с тем комплексный учет всех характеристических показателей этих процессов невозможен даже с использованием современных ПЭВМ, и прежде, чем заниматься решением задач моделирования, необходимо сформировать корректную и непротиворечивую систему упрощающих допущений, позволяющую с достаточной степенью точности моделировать вентиляционные мероприятия, направленные на совершенствование проветривания по пылевому фактору.

В качестве таких упрощающих допущений могут быть приняты следующие:

1. Источник пыли, находящийся в выработке  $(i, j)$ , является точечным и либо неподвижным (мгновенное положение комбайна, стоящая вагонетка или участок конвейера, участок горной выработки, покрытый пылевыми частицами крупных фракций), либо равномерно перемещающимся с заданной скоростью  $V_{уст}$  (рассматриваемые в динамике комбайны и транспортные средства). Интенсивность пылевыделения задается как параметр в каждом конкретном случае, а выделяющаяся пыль не вызывает изменения аэродинамического сопротивления  $(i, j)$  и, в дальнейшем, других выработок, по которым перемещается пылевоздушный поток.

В реальных условиях это, естественно, не так. Источник пыли имеет геометрические размеры, однако их учет не представляется возможным, т.к. в каждом случае они оригинальны. Наличие его в  $(i, j)$  приближенно учитывается изменением ее аэродинамического сопротивления. Именно, полное аэродинамическое сопротивление источника пыли равно  $R = R(i, j) + R_M + R_n$ , где  $R(i, j)$  – аэродинамическое сопротивление собственно  $(i, j)$ ;  $R_M$  – местное сопротивление, вызванное наличием в  $(i, j)$  источника пылевыделения;  $R_n$  – аэродинамическое сопротивление рассеянной в воздухе пыли сверх ее фонового значения.

Два первых слагаемых учитываются комплексно при вентиляционных расчетах, а сведения о величине  $R_n$  требуют проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Источник пылевыделения, как правило, движется неравномерно, т.е.  $V_{уст} \neq const$ , однако учет такого движения делает задачу нестационарной и динамической, а полученное при этом увеличение точности расчетов не компенсирует неточности получаемой информации о динамике источника пылевыделения.

2. Выделение пыли происходит дискретно, она равномерно и мгновенно распространяется в сечении выработки  $(i, j)$ , содержащем источник пылевыделения.

Необходимость этого допущения вызвана тем, что в реальных условиях направление выделения пыли зависит прежде всего от взаимного расположения режущего органа комбайна и пласта или (при проходке) породной перемычки, и учесть неравномерность распределения пыли в сечении выработки в заданный момент времени, да еще с учетом пылевых фракций, невозможно.

3. Распределение размеров пылевых частиц по ходу вентиляционной струи подчиняется нормальному закону.

Реально закон распределения может быть и отличен от нормального; однако для целей определения мест образования и характеристик источников вторичного пылеобразования замена его на нормальный вполне правомочна, а моделирование процесса пылепереноса на его основе значительно проще.

4. При значениях скорости вентиляционного потока  $V(i,j)$ , близких к оптимальным значениям по пылевому фактору  $V_{opt}$  (Правилами безопасности [6] они рекомендованы в пределах 1,2 – 2 м/с), картина пылепереноса имеет следующий вид:

при удалении от источника пыли происходит снижение ее концентрации  $C(i,j)$  до фоновой величины  $C_{\phi}$ , и от источника до этой точки на почве выработки образуется участок, покрытый пылью крупных фракций, который при увеличении  $V(i,j)$  становится самостоятельным источником вторичного пылевыделения;

в дальнейшем концентрация пыли, при отсутствии слияния рассматриваемого потока с другими запыленными вентиляционными потоками, остается примерно постоянной.

Основной трудностью, возникающей при теоретическом исследовании процесса распространения пыли турбулентным вентиляционным потоком, является необходимость учета осаждения и взметывания пыли, главным образом на почве выработок. Если предположить, что при установившемся процессе сумма плотностей потоков осаждающейся и взметываемой пыли равна нулю, то из решения уравнения диффузии пыли в турбулентном вентиляционном потоке в поле тяжести с соответствующим граничным условием будет следовать постоянство пылевого потока через сечение выработки на любом удалении от источника пыли. Если же пренебречь взметыванием пыли, что математически означает принятие нулевого граничного условия для  $C(i,j)$  на почве, то из решения того же уравнения можно получить экспоненциальное убывание  $C(i,j)$  для любых  $V(i,j)$  с удалением от источника пыли. Эти результаты не отражают существующих особенностей реального процесса. Поскольку над поверхностью почвы коэффициент турбулентной диффузии пыли отличен от нуля вплоть до самой ее поверхности, то при наличии на ней осажденной пыли граничное значение  $C(i,j)$  на почве совпадает с насыпной плотностью пыли. Однако при таком подходе вследствие очень малой скорости гравитационного осаждения пылинок  $C(i,j)$  даже на удалении от источника получается соизмеримой с ее насыпной плотностью.

Все указанные соображения и привели к формулировке вышеуказанного упрощающего допущения. При этом необходимо рассматривать два случая (и, соответственно, две модели пылепереноса:

при значениях  $V(i,j)$ , близких к  $V_{opt}$ , когда наблюдается лишь осаждение пыли, а взметыванием ее можно пренебречь;

при значениях  $V(i,j) > V_{opt}$ , когда соотношение оседающей и взметываемой пыли колеблется в широких пределах.



В рамках настоящего исследования основное внимание уделяется первой модели.

5. При поступлении к узлу  $i$  (начальному для  $(i,j)$ ) двух или более вентиляционных потоков, в которых  $C(i_k j_k) \neq C_\phi$ , описание процесса их смешивания предполагает следующие допущения:

перемешивание потоков в узле  $i$  происходит мгновенно, пылевые фракции располагаются в сечении начала выходящих из узла выработок  $(i,j)$  равномерно, т.е. предполагается возникновение эффекта "условного взметывания пыли", что, кстати, достаточно точно отражает реально протекающие в этом случае процессы;

в дальнейшем моделирование распространения пыли осуществляется, как от вновь возникшего вторичного источника пыли (в узле  $i$ ).

6. Преодоление запыленным потоком местных аэродинамических сопротивлений (явно выраженных поворотов горных выработок, вентиляционных сооружений и т.д.) является слабо изученным вопросом. Качественно при этом образуются дополнительные участки, покрытые осевшей пылью, а при преодолении вентиляционных сооружений  $C(i,j)$  снижается за счет осаждения пыли (в том числе и мелких, гравитационно не осаждаемых, фракций). На начальном этапе моделирования все необходимые параметры пылевоздушного потока в  $(i_k j_k)$ , содержащих местные аэродинамические сопротивления, должны быть рассчитаны и введены в модель для каждого конкретно исследуемого объекта — участка ШВС.

7. При использовании водяной завесы, как средства пылеподавления, необходимо принять следующие допущения:

аэродинамическое сопротивление ее незначительно, однако должно задаваться в обязательном порядке из практических соображений и учитываться при вентиляционных расчетах, поскольку водяная завеса является одним из типов местного аэродинамического сопротивления;

коэффициент пылеподавления водяной завесой, установленной в точке  $j_k$ , т.е.  $K_n = C(i_k j_k) / C(j_k j)$ , задается из практических соображений. Объясняется это тем, что в формулы для определения ее характеристик входит ряд параметров, значительно отличающихся для различных горно-геологических и горно-технических условий.

в реальных условиях может создаться ситуация, когда при  $V(i,j) > V_{онмс}$ , начиная с некоторого  $V(i,j)$  вентиляционный поток начинает отклонять водяную завесу и  $K_n \rightarrow 1$ . Поскольку этот вопрос пока изучен слабо — на начальном этапе моделирования изменением  $K_n$  при увеличении  $V(i,j)$  следует пренебречь.

Перечисленными упрощающими допущениями можно в первом приближении руководствоваться при создании имитационных моделей пылеобразования и пылепереноса в горных выработках угольных шахт. Система таких допущений должна быть открытой, т.е. допускать введение новых и удаление тех, которые на новом уровне моделирования могут быть заменены или исключены из рассмотрения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рассеяние мелкодисперсной пыли от источника непрерывного действия / Самонов М.Д. // Горное дело. — Алма-Ата. - 1976. - Вып.13. - С.18-22.

2. О способе моделирования процессов пылеобразования в очистных забоях крутых пластов / Поздняков Г.А., Савченко И.А. // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах. - Макеевка-Донбасс, 1974. - Вып.10. - С.103-107.

3. О процессе распространения пыли турбулентным вентиляционным потоком в горной выработке / Глуберг В.Е., Демишева Е.Ф. // Управление вентиляцией и газодинамическими явлениями в шахтах: Сб. научн. трудов. - Новосибирск, 1977. - С.144-147.

4. Распределение концентрации пыли в поперечных сечениях подготовительных выработок при нагнетательном проветривании / Лихачев П.Я., Белоголов И.П., Мясников В.А. // Вопросы безопасности в угольных шахтах: Труды ВостНИИ. - М.: Недра. - 1964. - т.V. - С.57-69.

5. К вопросу моделирования неустановившихся вентиляционных потоков / Шипков Н.Н. // Инженерно-физический журнал. - 1962. - т.V. - 6. - С.102.

6. Правила безопасности в угольных шахтах / ДНАОП 1.1.30 - 1.07-96 // Утверждено приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 18 января 1996г. - К.: Основа, 1996. - 207с.

УДК 622.232.72:622.023.2

А.Ю. Животов

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИСБАЛАНСОВ ДИСКОВЫХ РОТОРОВ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

У статті розглянуто питання динаміки та рівноваження роторів механізмів, які використовуються в гірській справі. Запропоновано метод ідентифікації дисбалансів для валів дискових зчлнюючих інструментів очистних комбайнів, відцентрових насосів шахтних вентиляторних установок, двигунів машин ударної руйнації порід.

В современной горнодобывающей отрасли промышленности широко используются различные машины и механизмы, имеющие вращающиеся детали и узлы. Рост скорости вращения роторов центробежных насосов для подачи нефти, шахтных вентиляционных установок, а также увеличение динамической нагруженности на вращающиеся узлы машин ударного разрушения, приводов очистных комбайнов, требует повышения точности балансировки роторов. Так, например, неуравновешенность вала дискового скалывающего инструмента в исполнительном органе очистного комбайна, приводит к значительной потере его рабочих характеристик. Вопросы теоретических исследований особенностей балансировки роторов посвящено значительное количество научных работ [1]. Несмотря на это, между успехами в области теоретических исследований и развитием балансировочной техники наметился существенный разрыв, который в первую очередь можно объяснить проблемами идентификации дисбалансов ротора.

С целью оценки возможности идентификации дисбалансов на балансировочном станке рассмотрим вращение ротора массой  $m$ , экваториальным моментом  $I_1$  и осевым моментом  $I_2$ , закрепленного в упругих опорах с коэффициентом жесткости  $k$ , расположенных на расстоянии  $l_0$  от центра масс. В связанной с ротором системе координат  $OXYZ$ , центр системы координат  $O$  совпадает с геометрическим центром ротора, ось  $Z$  совпадает с геометрической осью, ось  $X$  проходит через центр масс ротора. Вращение ротора рассматриваем во вращающейся системе координат  $O'X'Y'Z'$ , начало которой  $O'$  лежит в плоскости  $OXY$ , ось  $Z'$  совпадает с осью вращения, плоскость  $O'X'Z'$  параллельна плоскости  $OXZ$ . Смещения и повороты ротора в системе координат  $O'X'Y'Z'$  считаем малыми. Вращение ротора осуществляется с постоянной скоростью. Ротор при-