

ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены диффузионные процессы на выемочных участках во взаимосвязи с аэродинамикой выработанных пространств, что позволит в значительной степени раскрыть сущность газодинамических процессов и определить возможности их формирования при оперативном управлении вентиляцией газовых шахт.

Газообильный выемочный участок в условиях высокой интенсивности горных работ представляет собой область, характеризующуюся протеканием сложных диффузионных процессов в метановоздушных потоках. В целом сложность выемочного участка с этой точки зрения определяется, с одной стороны, наличием ряда источников выделения метана с распределенной в пространстве интенсивностью и, с другой стороны, сложностью аэродинамики участка. Эти процессы весьма трудно поддаются теоретическому описанию, равно как и экспериментальному изучению и расчету.

Процессы распределения метана в шахтных воздушных потоках исследуются с целью решения целого ряда практически важных задач рудничной вентиляции. Основы теории диффузии примесей в шахтных воздушных потоках разработанные В.Н. Ворониным [1], послужили основой для создания методов расчета количества воздуха, необходимого для проветривания подготовительных и очистных выработок угольных шахт и рудников. Задачи диффузии метана в горных выработках решались рядом исследователей в связи с проблемой слоевых и местных скоплений метана. В общем комплексе задач диффузии в рудничной вентиляции диффузионные процессы в выработанном пространстве представляют собой наибольшую трудность. Между тем значимость этих процессов в вентиляции шахт весьма существенна. С решением этих задач связаны практические вопросы дегазации выработанных пространств, распределения метана в выработках участков и управления проветриванием.

Диффузионные процессы в выработанном пространстве относятся как к классу стационарных – процессов распределения метана в выработанных пространствах при стационарных режимах вентиляции, так и нестационарных – переходных процессов изменения концентрации метана при изменении параметров вентиляции и газовыделения.

Решение стационарных задач диффузии метана в выработанном пространстве связано непосредственно с задачей дегазации. Известно, что эффективность дегазации выработанных пространств может быть весьма высокой (до 95%), если скважины располагаются в зонах высокой концентрации метана, и незначительной (до 20-15%) при расположении скважин в области активных фильтрационных течений воздуха. Задача стационарной диффузии метана связана так же с задачей управления проветриванием, так как в зависимости от режима вентиляции перераспределяется газовый баланс выемочных выработок. К задачам управления относится так же определение местоположения наиболее загазованных зон выработанных пространств – потенциальных дополнительных источников выделения метана при увеличении интенсивности вентиляции[2].

Наиболее важной проблемой управления вентиляцией, являющейся следствием изменения ее параметров, на практике она связана с серьезными последствиями. Особенность их заключается в необходимости учета нестандартных газовых процессов в условиях автоматического регулирования вентиляции, поскольку систематическое

изменение расходов воздуха на выемочном участке будет сопровождаться переходными газовыми процессами.

Переходные газовые процессы известны в рудничной аэрологии в различных аспектах. Однако можно утверждать, что до настоящего времени в недостаточной степени изучен диффузионный характер этого явления, тесно связанный с аэродинамикой выработанных пространств. В связи с этим имеющиеся решения проблемы не обладают достаточной универсальностью и могут рассматриваться как частные разработки, обладающие ограниченными возможностями их практического использования при управлении вентиляцией. В зависимости от физического толкования возникающих при регулировании явлений, для их описания используются различные методы. Последнее можно подразделить на детерминистские, т.е. статические, позволяющие получить описание объекта, не вдаваясь в физику происходящих в нем явлений. Подобное разделение имеющихся работ несколько условно, однако представляется целесообразным для их анализа и получения определенных выводов.

Одно из направлений, основанных на физическом толковании переходных газодинамических процессов, представляют работы Ф.С. Клебанова [3], который в качестве основной причины возникновения всплесков концентраций метана при регулировании рассматривает перераспределение воздуха между лавой и выработанным пространством. Согласно данной точке зрения, все многообразие переходных газовых процессов в исходящих струях участка определяется многообразием начальных газовых ситуаций на нем, при этом каждому из процессов свойственно наличие четырех характерных значений концентраций метана. Исследование переходных процессов для случаев ламинарного и турбулентного режимов движения воздуха в выработанном пространстве показало, что они могут быть очень разнообразными. Для случаев плавного изменения аэродинамических параметров при регулировании доказано, что возникающие переходные процессы качественно подобны переходным процессам при резком регулировании, отличаясь большими периодами между характерными концентрациями метана и большей плавностью изменения.

Заметим, что подобное представление о природе возникновения переходных газодинамических процессов ограничено самим возмущением – изменением расхода воздуха, - и не учитывает появляющегося при регулировании дополнительного источника метановыделения [4]. В силу этого, описание величины всплеска концентрации метана с изложенных позиций нельзя считать удовлетворительным. Кроме того, замена выработанного пространства простой фиктивной струей, без учёта неравномерностей распределения в нем утечек и поступлений метана несомненно искажает вид переходных процессов. Все это заставило искать более глубокие причины возникновения всплесков при регулировании.

Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, Г.А. Шевелев в качестве таковой называют дополнительный вынос метана из выработанного пространства, которое, по их мнению состоит из отдельных пустот – камер. При этом, механизм явления отождествляется с действием свободных струй, когда расширение их границ вследствие увеличения скорости движения воздуха приводит к изменению активно проветриваемого объема пустот – камер с вовлечением зон более высоких концентраций. Это эквивалентно появлению дополнительного источника газовой выделению. Заметим, что полная неопределенность до настоящего времени геометрических и вентиляционных параметров пустот – камер в количественных выражениях предопределяет возможность лишь качественного решения задачи описания переходных газодинамических процессов с изложенных теоретических положений.

Некоторые исследователи склонны видеть определяющую причину возникновения всплеска концентрации метана в перепаде барометрического давления, возникающего при изменении расхода воздуха на участке. Так, в работе Г.Л. Пигиды показана принципиальная возможность возникновения переходных процессов, качественно подобных наблюдаемым при регулировании. Выработанное пространство при этом представляется не только источником постоянного газовыделения, но и огромным резервуаром, содержащим газоздушную смесь с высоким содержанием метана. В силу этого, изменение вентиляционного режима участка вызывает изменение барометрического давления и, соответственно, сжатие или расширение газа в выработанном пространстве, что в свою очередь, ускоряет или замедляет газовыделение из него.

Если уравнение, полученное Г.Л. Пигидой, демонстрирует лишь возможность описания переходных процессов с изложенной точки зрения на физику явления, то Л.П. Фельдман и В.А. Святный разработали описание которое послужило основой для многих дальнейших исследований. Выработанное пространство представляется здесь состоящим из двух областей. Нижняя часть выработанного пространства омывается утечками воздуха, а верхняя содержит пустоты, заполненные газоздушной смесью. Метан этих пустот фильтруется в область, омываемую утечками, и выносится ими на вентиляционный штрек. Поскольку изменения барометрического давления возникающие при регулировании, вызывают перепад статического давления на поверхности фильтрации, разграничивающей, соответственно, верхнюю и нижнюю области выработанного пространства, то это приводит к возникновению переходного процесса. Система уравнений, описывающая переходный процесс, состоит из уравнений движения утечек воздуха в нижней области выработанного пространства и решается при граничных условиях, определяемых движением воздуха по оконтуривающим выработанное пространство выработкам. Дальнейшее ее использование связано, как правило, с упрощениями, когда принимают, что давление воздуха на поверхности фильтрации распределено по линейному закону, а изменение плотности метана, поступающего в зону утечек, невелико, и им можно пренебречь. В таком упрощении В.А. Бойко и А.А. Петречук получили передаточную функцию выработанного пространства по каналу «расход воздуха – дебит метан», что позволило установить передаточную функцию выемочного участка как объекта управления[5].

Достоинством изложенного выше описания переходных газодинамических процессов является разработка до передаточной функции, непосредственно используемых теорий автоматического регулирования для целей анализа качества регулирования, оценки его быстродействия и устойчивости, а также для синтеза наилучших законов регулирования. Однако рассмотрение в качестве основной причины появления всплесков изменений барометрического давления представляется спорным. В настоящее время причину появления всплесков, обусловленных дополнительным выносом метана из выработанного пространства, в определяющем характере утечек, а не в возникающих перепадах давления. Это подтверждено и натурными экспериментами. Кроме того, серьезным недостатком изложенного выше подхода к описанию переходных газодинамических процессов является допущение ламинарного характере утечек через выработанное пространство.

Другая точка зрения на причину возникновения всплесков связана с допущением наличия в выработанном пространстве больших скоплений метана, которые обусловлены силами плавучести. Эти скопления метана под действием увеличивающегося дебита утечек при регулировании теряют свою устойчивость и выносятся на вентиляционный штрек. Впервые такое толкование физических явлений, происходящих в выработанном пространстве, было дано О.И. Касимовым а затем

получено дальнейшее развитие в трудах Л.П. Фельдмана. Он рассматривает переходные аэродинамические процессы на участке как совокупность взаимосвязанных явлений – движение воздуха по штрекам и лаве, утечек через выработанное пространство участка, перемешивание метана и воздуха в объеме выработанного пространства и штрека. Предложенная им система управления в частных производных очень сложна, поэтому он использует эту модель в целях исследования на ЭВМ, предлагая для решения задач управления вентиляцией упрощенный вариант, где используется обычное дифференциальное уравнение, составленное на основе закона сохранения масс в элементах выемочного участка: лавы, активно проветриваемой части выработанного пространства и примыкающего к нему вентиляционного штрека. Заметим, что характерной особенностью предложенного описания является наличие избыточного воздуха в утечках. При этом возможны такие режимы вентиляции выработанного пространства, когда происходит вырождение дополнительных скоплений, в результате чего всплесков при регулировании не наблюдается [2].

Несмотря на достаточную сложность упрощенной модели, являющейся следствием стремления учесть многообразие факторов, влияющих на переходный процесс, не все параметры в ней получили физическое обоснование. Поэтому такая модель не является универсальной. Теоретически процессы диффузии метана в воздушном потоке описываются общим уравнением вида:

$$\varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} = D_{ij} \frac{\partial^2 c}{\partial x_i \partial x_j} - V_i \frac{\partial c}{\partial x_i} \quad (1.1)$$

Уравнение (1.1) включает нестандартный член $\frac{\partial c}{\partial t}$ и функция скорости фильтрации V_i . Для случаев стационарной диффузии уравнение примет вид

$$D_i \frac{\partial^2 c}{\partial x_i \partial x_j} - V_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = 0 \quad (1.2)$$

Для решения уравнений диффузии необходимо знать описание скорости поля, распределения коэффициента диффузии и определить граничные условия поступления метана в область фильтрационного потока.

Уравнение диффузии с точки зрения решения задач стационарной диффузии метана в выработанном пространстве представляют чисто теоретический интерес, так как все доступные для теоретического анализа результаты получены на основе одномерных теорий диффузии [2]. В условиях плоского течения воздуха, к которому была приведена задача аэродинамики выработанного пространства, и с учетом граничных условий поступления метана из распределенного плоского источника, не приходится рассчитывать на отыскание какого-либо практически приемлемого решения уравнений (1.2). Задача осложняется тем, что в практических условиях трудно установить необходимые закономерности экспериментальным путем. В этой связи особое значение приобретает моделирование диффузионных процессов в лабораторных условиях. В этом случае анализ уравнений диффузии дает возможность определить необходимые условия подобия [2].

Исследования диффузионных процессов на выемочных участках во взаимосвязи с аэродинамикой выработанных пространств позволило в значительной степени раскрыть сущность газодинамических процессов и определить возможности их формирования при оперативном управлении вентиляцией.

Источники информации:

1. Воронин В.Н. Вопросы рудничной аэрогазодинамики. – М.: Углетехиздат, 1961
2. Пучков Л.А., Каледина Н.О. Динамика метана в выработанных пространствах угольных шахт. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1995, 313с.
3. Клебанов Ф.С. Аэродинамическое управление газовым режимом в шахтных вентиляционных сетях. – М.:Наука, 1974. – 135 с.
4. Абрамов Ф.А., Грицингер Б.Е., Соболевский В.В., Шевелев Г.А. Аэрогазодинамика выемочного участка. – Киев: Наукова думка, 1972. – 236с.
5. Фельдман Л.П., Святный В.А. Переходные газодинамические процессы в выработанном пространстве при изменении режима проветривания участка. В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Наукова думка, 1968. – 190с.

УДК 622.83

КОДУНОВ Б.А. (КИИ ДонНТУ)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО
ГОРНОГО МАССИВА**

На основі даних комп'ютерного моделювання розглянуто закономірності виникнення, розташування та зміни вертикальних і горизонтальних деформацій розтягу-стиску та кривизни у товщі гірських порід, яка підроблюється гірничими роботами

Деформации, возникающие при подработке породной толщи горными работами возникают вследствие неравномерности горизонтальных и вертикальных сдвижений, к которым относятся оседания (вертикальная составляющая вектора сдвижения) и горизонтальные сдвижения (горизонтальная составляющая вектора сдвижения). К деформациям относятся наклоны, кривизна, вертикальные и горизонтальные растяжения-сжатия. Наклоны, горизонтальные деформации растяжения-сжатия и кривизну в мульде сдвижения, возникающей на земной поверхности можно определить по методике, описанной в нормативных документах [1]. Для определения деформаций подработанной породной толщи официальная методика не разработана. Особую сложность представляет задача нахождения вертикальных деформаций растяжения-сжатия. Для её решения необходимо найти разницу в оседаниях (вертикальных сдвижениях) по вертикали на каком-либо отрезке. Но аналитические выражения, описывающие закономерности распределения оседаний в вертикальном направлении, не разработаны. Для этой цели может быть использован метод компьютерного моделирования, описанный в работе [2]. Характерной особенностью и достоинством данного метода является возможность получения пространственных координат любой точки в области сдвижений горных пород после перемещения под влиянием выработанного пространства, что позволяет построить вектор её перемещения. Зная координаты точек, переместившихся в результате сдвижения толщи горных пород можно определить все виды сдвижений и деформаций.