УДК 622.814; 622.33.012.2

Ю.В. Шувалов , В.В. Соболев,
А.Н. Глобин , А.П. Веселов

АЭРОГАЗОПЫЛЕДИНАМИКА ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Изложены результаты натурных, лабораторных и аналитических исследований динамики утечек воздуха, метана и пыли в выработанном пространстве добычных участков угольных шахт. Установлены закономерности формирования взрывоопасных зон в горных выработках и прилегающем к ним выработанном пространстве.

The dynamics of air, methane and dust leakage in the exhausted area of coal mine extraction parts is stated basing on the results of nature, laboratory and analitical investigations. The laws of explosible zones formation in the workings and ajoining exhausted area are established.

Широкое применение прямоточной схемы проветривания очистных забоев при бесцеликовой схеме выемки с обрушением кровли на шахтах ПО "Воркутауголь" объясняется необходимостью удаления метана из призабойной зоны и выноса его с утечками воздуха через выработанное пространство непосредственно в вентиляционные выработки.

Стандартные значения коэффициента утечек воздуха в лавах [7] при таких схемах достигают 1,3-1,7. Это означает, что от 30 до 70 % поступающего в лавы воздуха уходит в выработанное пространство и затем, обогащенное газами, выделяющимися из надрабатываемых и подрабатываемых толщ, поступает в вентиляционные выработки. При этом закономерность распределения поступающей газовоздушной смеси и содержание в ней газа, главным образом метана, зависят от множества горно-технических факторов.

Формирование утечек воздуха в самой очистной выработке столь же сложно и зависит как от горно-технических факторов, так и от призабойного и выработанного пространства. Их положительная роль (защита от газовыделения в лаву из выработанного пространства) повышается выносом в него значительного количества угольной пыли (до 70 %), образующейся при выемке и транспорте угля. Эта схема не лишена, однако, серьезных недостатков:

1) неуправляемость процесса движения утечек в лаве и выработанном пространстве;

2) значительные концентрации метана в газовоздушной смеси, поступающей в выработки с исходящей струей;

3) формирование пожаровзрывоопасной зоны концентрации газа, пыли и воздуха в выработанном пространстве за лавой;

4) возможная необеспеченность воздухом значительной части лавы.

Все это может создавать чрезвычайные ситуации в вентиляционных выработках при ведении работ по их поддержанию (взрывы), в выработанном пространстве (пожары и взрывы) и в самих лавах (взрывы и возгорания, легко переходящие в выработанное пространство).

Анализ методик расчета утечек воздуха в лавах, выполненный В.В.Смирняковым по известным и рекомендованным литературным и нормативным источникам [1-6], показал, что при одинаковых начальных условиях и исходных данных, результаты расчетов могут весьма существенно (на $\pm$ 50 %) отличаться от фактических данных (рис.1, кривая 2), которые, в свою очередь, носят вероятностный характер. Последнее обстоятельство весьма важно, так как изменения динамики процесса формирования утечек воздуха, поступления в них газа и пыли могут иметь скачкообразный характер с значительным (в 2-10 раз) разбросом значений параметров.

По результатам шахтных наблюдений, выполненных В.Н. Бобровниковым, в сечении призабойного пространства лавы наблюдается закономерное уменьшение скорости течения воздуха от груди забоя к завалу (ограждению механизированной крепи) со значительным градиентом (до 0,25 м/с на 1 м) после обрушения пород за крепью и его снижением до 0,1 м/с на 1 м при отставании зоны обрушения от крепи. В последнем случае за крепью наблюдается течение струи воздуха, параллельной забою, и формирование на основе этой и основной струи в забое утечек в выработанное пространство. Более плотная упаковка обрушенных пород после посадки кровли за крепью не только концентрирует струю у груди забоя, но и сокращает утечки из ограждаемого пространства на 40-60 % и на 10-15 % из свободного пространства между забоем и обрушенными породами в целом.

Процессы формирования утечек воздуха в выработанном пространстве были изучены на трехмерной аналитической модели, реализованной с помощью программы "MODFLOW" (США) конечно-разностным методом на прямоугольной сетке по пространству (16, 26 и 9 блоков соответственно по длине

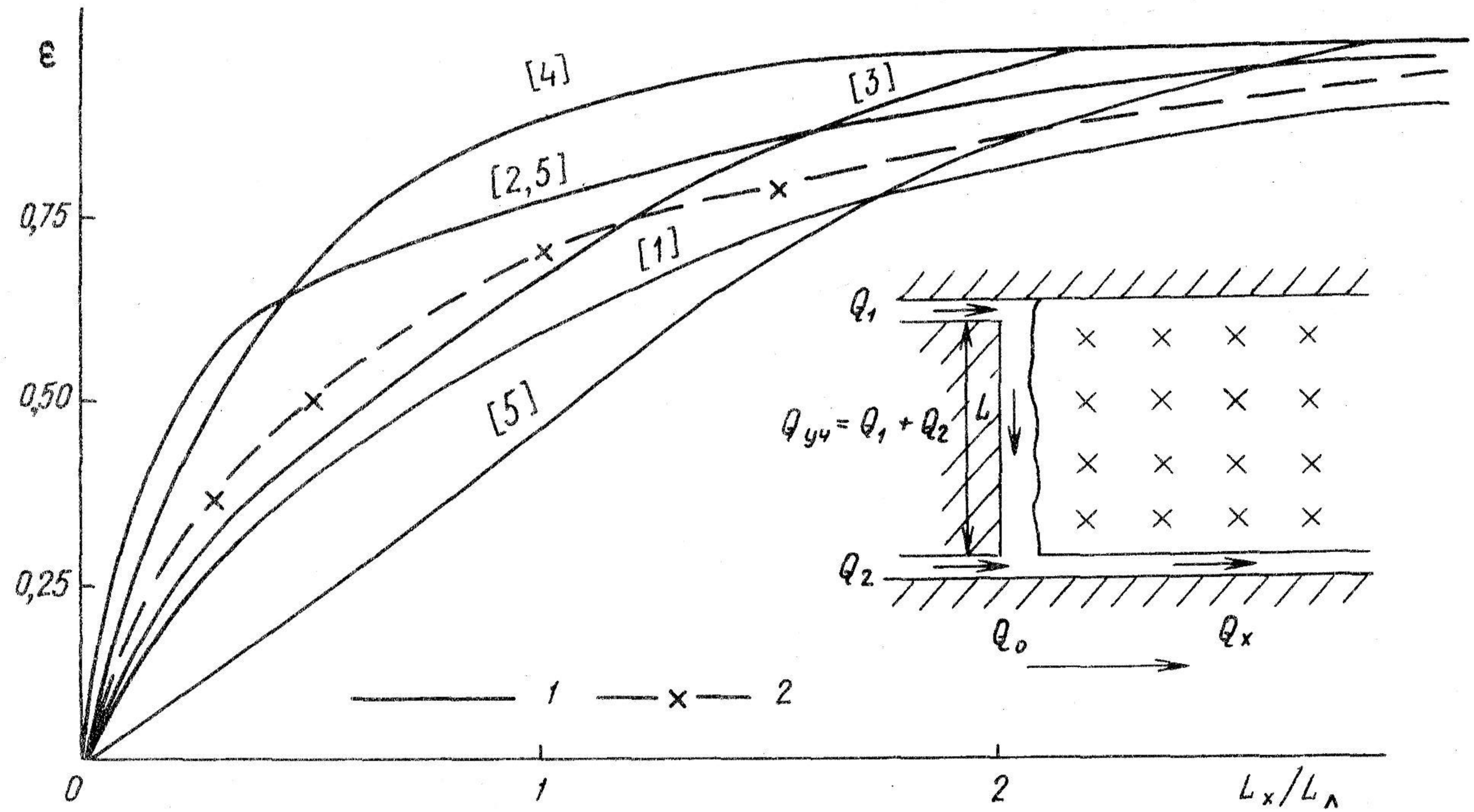


Рис.1. Относительный удельный расход притечек воздуха ε в зависимости от безразмерного расстояния до лавы $L_x/L_л$ ($L_л$ - длина лавы)

1 - расчет по методикам; 2 - результаты математического моделирования

лавы, длине выработанного пространства и мощности обрушенных пород). Распределение проницаемости обрушенных пород по высоте и длине выработанного пространства задавалось в форме экспоненциальных зависимостей с учетом строения и состава пород кровли (диапазон от $2 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Д). Результаты моделирования (рис.1, кривая 2) соответствуют наблюдаемому распределению утечек воздуха на сборном вентиляционном штреке. Распределение утечек по высоте зоны обрушения свидетельствует о том, что их основная масса движется по нижним слоям:

Слой (снизу вверх)	1	2	3	4
Мощность, м	1,5	1,5	2,0	<3
Доля утечек, %	60-80	20-30	10-20	5

Распределение утечек по площади выработанного пространства характеризуется закономерным изменением их относительной величины в начале пути (лава) с максимумами в начале и в конце (на расстоянии 15-30 м), стабильным значением в средней части (100 м), аналогичным характером притечек в сборный коллектор (конвейерный штрек) на расстояние до 350 м от лавы.

По площади выработанного пространства токи утечек (рис.2) имеют характерный вид кривой Гаусса на границе зо-

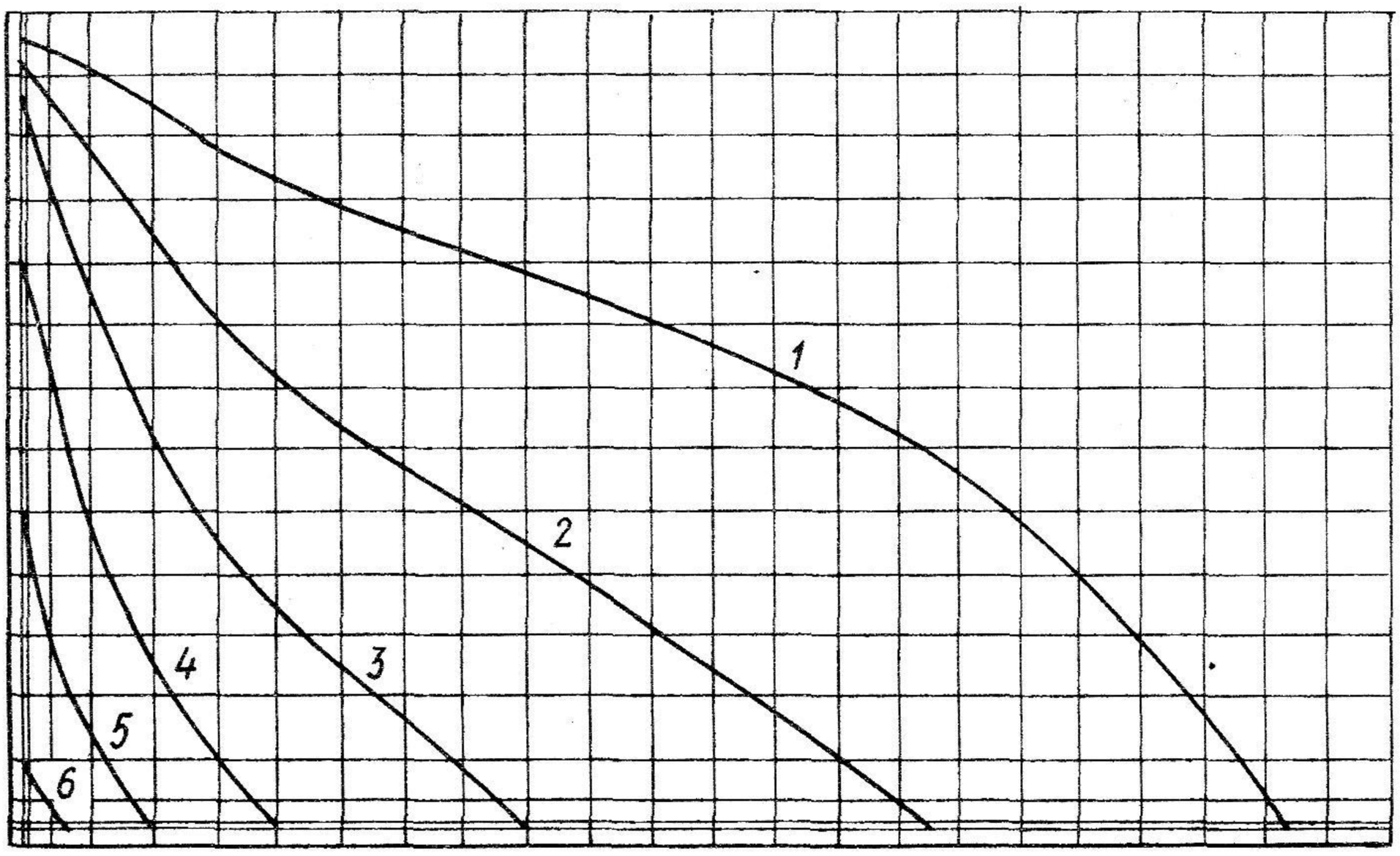


Рис.2. Карта линий тока 1-6 утечек по нижнему слою (вариант 5, масштаб 1:2500)

ны (кривая I) с постепенной линеаризацией на начальном участке (кривая 6 - низ лавы на сопряжении с конвейерным штреком). Вертикальная фильтрация утечек наблюдается во всем объеме активной зоны с перетоками из нижнего слоя в верхние вблизи забоя и из верхних слоев в нижние при выходе на вентиляционный штрек.

Соотношения расходов воздуха, поступающего по вентиляционному штреку в лаву ($Q_{п.в.ш}$), выходящему из лавы ($Q_{и.оч}$), и утечек через выработанное пространство $Q_{в.п}$ определяются конкретными условиями. По данным экспериментальных наблюдений на шахтопластах ПО "Воркутауголь", выведены уравнения связи между этими параметрами для пластов "Четвертый" и "Мощный" соответственно

$$Q_{и.оч} = 0{,}0201\ Q^{1{,}4522}_{п.в.ш}\ ;\quad Q_{в.п} = 7{,}46\ Q^{0{,}62}_{п.в.ш}$$

и

$$Q_{и.оч} = 0{,}9207\ Q^{0{,}8931}_{п.в.ш}\ ;\quad Q_{в.п} = 0{,}2892\ Q^{1{,}0968}_{п.в.ш}.$$

При стабилизации процессов фильтрации утечек в выработанном пространстве выемочного участка и их распределении по его длине от очистного забоя L_x или $L_{в.п}$, показанному в безразмерных координатах на рис.1, наблюдается закономерное изменение в утечках концентрации газа (метана) в функции L_x . При средней концентрации газа в утечках $C_{в.п}$, зависящей от газового баланса участка и эффективности систем дегазации, его концентрация в конкретной точке на выходе в конвейерный штрек, может быть рассчитана по эмпирическим зависимостям, полученным на основе математической обработки шахтных наблюдений (Ю.Н.Бессонов)

$$C_{в.л} = \overline{C}_{в.п} \cdot 10^4\ L^3_{в.п}/(a + bL^9_{в.п})\ ,$$

где a и b - эмпирические коэффициенты, зависящие от $L_{в.п}$ и условий шахтопласта.

Зависимости $C_{в.л}$ имеют нелинейный характер с явно выраженным максимумом в точке $L^{max}_{в.п} = (a/2b)^{0{,}111}$ с максимальной концентрацией газа

$$C^{max}_{в.п} = \overline{C}_{в.п} \cdot 10^4\ \ (L^{max}_{в.п})^3/[\ a + b\ (L^{max}_{в.п})^9\ ].$$

Результаты натурных измерений и расчетов свидетельствуют, что для выемочных столбов на пласте "Четвертый" средняя величина максимальной концентрации газа

$C^{max}_{в.п} \approx 5\%$ (экстремальные значения 10-15 %) на расстоянии $L^{max}_{в.п}$=60÷150 м (средняя около 100 м), а опасные концентрации (более 2 %) отмечены на расстояниях от 25 до 220 м. На пласте "Мощном" средняя величина максимальной концентрации ниже (около 3 %) при тех же расстояниях от лавы (60-150 м) , а опасные концентрации (> 2 %) распространяются на расстояние от 20 до 160 м.

Квазистатические и динамические характеристики газовоздушных потоков в выработках и выработанном пространстве выемочных участков тесно связаны с проявлениями опорного горного давления и деформациями вмещающих пород, что следует учитывать как при построении расчетных моделей, так и при выборе средств и способов защиты выработок.

Условия переноса и осаждения пыли в выработанном пространстве выемочных участков исследовались аналитическим методом решения сопряженных уравнений массопереноса при фильтрации (с классическими коэффициентами диффузии и массоотдачи) по системе параллельных каналов или укладки из шаров.

Решения для средней концентрации массы (пыли) $\overline{C}_п$ в потоке по длине каналов имеют вид

$$\overline{C}_п = C_{вх} \exp\,(-\sigma_1 K x)\ \chi\,(\tau - x/u)\ ,$$

где $C_{вх}$ - концентрация пыли на входе в канал , мг/м^3 ; σ_1 - площадь поверхности на единицу объема среды, м^2/м^3; K - приведенная или суммарная константа скорости оседания, м/с; x - расстояние фильтрации, м; τ - время, с; u - действительная скорость движения воздуха, м/с; χ - функция Хевисайда.

Для реальных условий переноса пыли в выработанном пространстве по результатам расчетов зависимость относительной концентрации $\overline{C}_п/C_{вх}$ от расстояния x имеет вид экспоненциальной функции с точками $\overline{C}_п/C_{вх} = 0{,}5$ при $x = 4$ м; $\overline{C}_п/C_{вх} = 0{,}25$ при $x = 7$ м и $\overline{C}_п/C_{вх} < 0{,}1$ при $x \approx 15$ м. Таким образом, основная масса пыли оседает в зоне, прилегающей к призабойному пространству (до 10 м), создавая благоприятные условия для переноса очага возгорания и взрыва в выработанное пространство.

Разработанные аналитические методики прогноза аэрогазопылевой обстановки в выработанном пространстве и выработках выемочных участков угольных шахт позволяют оценить опасность возникновения реальной угрозы взрыва и возгорания, а также исследовать с минимальными затратами системы профилактики и борьбы с этими явлениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Колесниченко Е.А., Сморчков Ю.П., Орешкин А.В.* Динамика газовыделения и интенсивность выемки угля на шахтах ПО "Воркутауголь": Обзор/ЦНИЭИуголь. М., 1985.

2. *Милетич Л.Ф.* Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт. М.: Недра, 1968.

3. *Мясников А.А., Рябченко А.С., Садчиков В.А.* Управление газовыделением при разработке угольных пластов. М.: Недра, 1987.

4. *Патрушев М.А., Дранишын Е.С.* Проветривание высокомеханизированных лав. Донецк: Донбасс, 1974.

5. *Пучков Л.А.* Аэродинамика выработанных пространств. М.: Изд-во МГУ, 1993.

6. Рудничная вентиляция: Справочник/Под ред. К.З.Ушакова. М.: Недра, 1988.

7. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Макеевка: Донбасс, 1989.