УДК 622.4

В.В.СМИРНЯКОВ, *канд. техн. наук, доцент, smirnyakovvv@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.V.SMIRNIAKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, smirnyakovvv@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРУШЕНИЯ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ

Рассмотрены формулы для расчета параметров воздушного потока, возникающего при обрушении пород основной кровли, и проведен анализ переменных, входящих в их состав.

Ключевые слова: аэродинамика выработанных пространств, обрушение кровли, основная кровля, ударная волна.

ANALYTICAL ESTIMATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE MAIN ROOF COLLAPSE

The article describes the formulas for calculation of air flow characteristics, that originates from the main roof collapse and also it has been made analysis of variates, that form their parts.

Key words: aerodynamic of mined-out spaces, roof collapse, main roof, impulse wave.

При применении систем разработки с обрушением кровли по мере подвигания лав за ними образуется выработанное пространство, на формирование которого оказывают влияние процессы обрушения непосредственной и основной кровли. Основная кровля представляет собой массивные блоки пород, при обрушении которых возникает мощная ударная волна, вызывающая за собой спутный поток загазованного воздуха из выработанного пространства в рабочую зону лавы [1-4,7].

Механизм образования ударной воздушной волны в подобных условиях может быть рассмотрен на примере движения поршня в замкнутом объеме с некоторой скоростью [3, 4]. Через некоторое время после начала движения перед поршнем возникает возмущение в виде воздушной звуковой волны. При этом температура и давление газа изменяются, и следующая волна, перемещаясь быстрее по возмущенному газу, догоняет первую. По мере движения поршня вследствие слияния волн возникает интенсивная волна сжатия, называемая ударной воздушной волной [4].

Фронт ударной волны представляет собой поверхность разрыва параметров состояния газа, перемещающуюся по газу и вызывающую скачкообразное изменение этих параметров, причем невозмущенный газ перед фронтом ударной волны имеет меньшие давление, плотность и температуру, чем после прохождения фронта. Спутный поток воздуха, вызываемый ударной воздушной волной, возникает вследствие разности давлений в возмущенном и невозмущенном газе и движется вслед за фронтом волны сжатия [4].

Значения скоростей ударной волны и спутного потока за ней могут быть определены по следующим формулам:

$$W = \sqrt{\frac{k-1}{2k} + \frac{k+1}{2k}\frac{P_2}{P_1}}\,a; \qquad (1)$$

$$\upsilon = \frac{\left[\sqrt{\frac{2}{k}\left(\frac{P_2}{P_1}-1\right)}\right]}{\left[\sqrt{(k-1)+(k+1)\frac{P_2}{P_1}}\right]}\,a, \qquad (2)$$

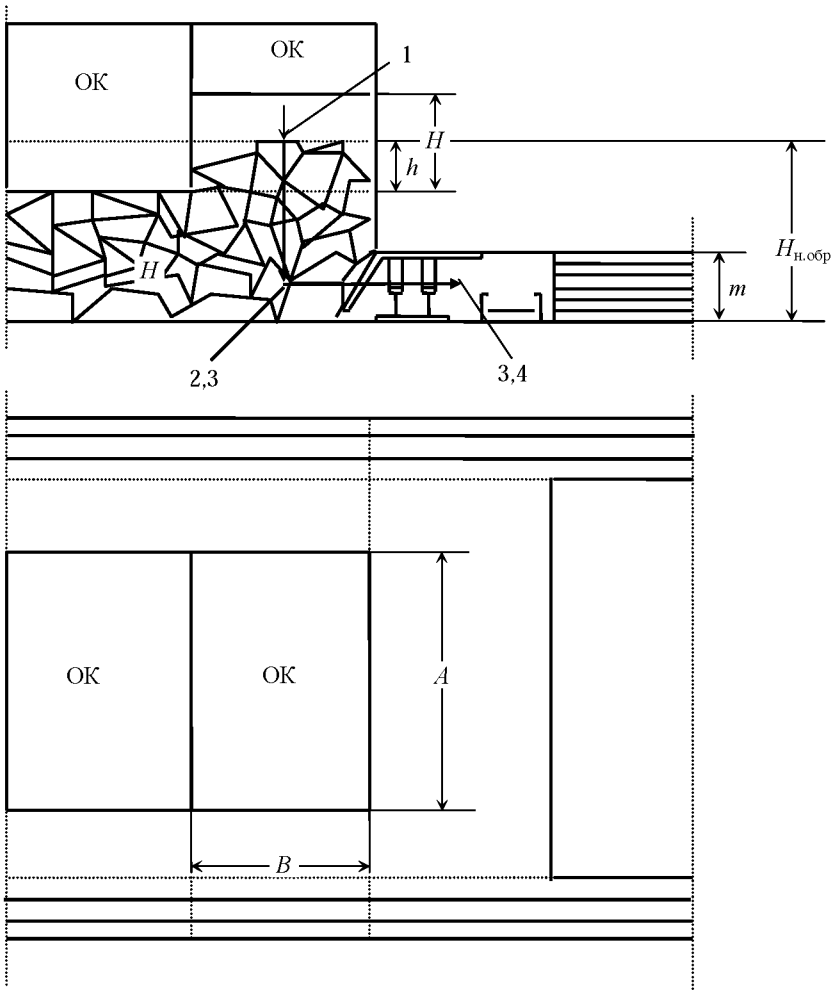


Схема обрушения пород основной кровли

ОК – основная кровля; A, B – соответственно ширина и шаг обрушения; m – мощность отрабатываемого пласта; $H_{н.обр}$ – мощность обрушенной непосредственной кровли; h – податливость непосредственной кровли; H – высота обрушения основной кровли; 1-4 – стадии формирования воздушного потока

где W, υ – скорость соответственно ударной волны и спутного потока, м/с; k – показатель адиабаты для воздуха, $k = 1{,}4$; P_1, P_2 – значение давления соответственно до и в момент прохождения ударной волны, Па; a – скорость звука в воздухе, м/с.

Анализ формул показывает, что значения скорости ударной волны и спутного потока за ней не зависят от геометрических размеров поршня, а следовательно, и выработанного пространства. Значения скоростей ударной волны и спутного потока зависят только от соотношения значений давления в момент прохождения ударной волны и статического давления в выработке до обрушения.

Однако на практике на давление в рабочей зоне лавы в момент прохождения ударной волны оказывает влияние ряд факторов. Основными из них являются: геометрические параметры обрушения, мощность и податливость обрушенных пород непосредственной кровли, аэродинамические характеристики выработанного пространства и выемочного комплекса в лаве, количество прилегающих к выработанному пространству и лаве выработок.

Процесс истечения загазованного объема воздуха из выработанного пространства при обрушении основной кровли происходит следующим образом. Основная кровля в виде системы породных блоков с определенными шагом обрушения и шириной зависает над некоторым объемом выработанного пространства (см.рисунок). Этот объем ограничен снизу почвой, с бо-

ков стенками выработок или обрушенными ранее блоками, сзади границей зоны опорного давления, сверху – основной кровлей, спереди имеет аэродинамическую связь с лавой и прилегающими выработками. Внутри находятся обрушенные куски пород непосредственной кровли, между которыми имеются пустоты, заполненные газовоздушной смесью.

После обрушения объем выработанного пространства определится, исходя из условий податливости обрушенной непосредственной кровли, по следующей формуле:

$$V_{\text{в.п.обр}} = V_{\text{в.п}}(1-\psi), \qquad (3)$$

где $V_{\text{в.п}}$ – объем пустот выработанного пространства до обрушения основной кровли, м^3; ψ – относительная величина податливости обрушенных пород непосредственной кровли, $\psi = 0{,}08 \div 0{,}1$ [1].

Объем пустот выработанного пространства определяется по формуле

$$V_{\text{в.п}} = (L + \Sigma a)mB, \qquad (4)$$

где L – длина лавы, м; Σa – суммарная ширина прилегающих выработок, м.

Относительная величина податливости обрушенных пород непосредственной кровли

$$\psi = h / H_{\text{н.обр}}, \qquad (5)$$

где h – абсолютная величина податливости непосредственной кровли, м; $H_{\text{н.обр}}$ – мощность обрушенной непосредственной кровли, м.

Тогда по закону Бойля – Мариотта давление газов в выработанном пространстве в момент обрушения

$$P_{\text{в.п.обр}} = P_{\text{в.п}} V_{\text{в.п}} / V_{\text{в.п.обр}}. \qquad (6)$$

С учетом формулы (3) выражение (6) может быть приведено к виду

$$P_{\text{в.п.обр}} = 1{,}11 P_{\text{в.п}}, \qquad (7)$$

где $P_{\text{в.п}}$ и $P_{\text{в.п.обр}}$ – статическое давление газов в выработанном пространстве до и в момент обрушения (при $\psi = 0{,}1$).

В соответствии с газовыми законами, статическое давление равномерно в любой точке выработанного пространства, в том числе и на границе с призабойной зоной. Считая процесс обрушения практически мгновенным во времени, из формул (1) и (2) с учетом (7) получим значения скорости ударной волны и спутного воздушного потока за ней. При приращении давления в 1,11 раза и показателя адиабаты для воздуха $k = 1{,}4$ эти величины составят: $W = 345{,}7$ м/с и $\upsilon = 24{,}8$ м/с. С учетом постановки задачи их можно принять максимальными начальными значениями для скоростей ударной волны и спутного воздушного потока.

Согласно данным [5], значение υ в шахтных условиях при обрушении основной кровли составляет в лаве 5-20 м/с. Этот диапазон объясняется тем, во-первых, что основная кровля обрушается частями не по всей длине лавы одновременно, при этом газовоздушная смесь распределяется по большему объему, определяемому по формуле (3). Во-вторых, при обрушении давление в пустотах не передается мгновенно во все стороны, что объясняется сжатием воздушной среды и высоким аэродинамическим сопротивлением выработанного пространства.

Аналитически описание процесса обрушения и распределения объема газовоздушной смеси, находящейся под основной кровлей, в этом случае произвести довольно трудно, так как данный процесс существенно нестационарен и требует применения сложного математического аппарата [4, 6]. Режим движения воздушного потока после обрушения основной кровли сначала является инерционным, когда преобладают силы давления и инерции, а силами трения можно пренебречь. С уменьшением влияния инерционных сил возрастает доля силы трения и воздушный поток характеризуется вязкостным режимом течения. В этом случае целесообразно разделить период формирования воздушного потока при обрушении на несколько стадий (см. рисунок):

1) момент отрыва воздушной волны от обрушенных пород основной кровли;

2) движение воздуха через породный слой под действием динамического напора;

3) движение воздуха через породный слой под действием статического перепада давления;

4) движение воздуха через лаву и систему прилегающих выработок под действием статического перепада давления.

Для получения достоверных данных об условиях движения воздушного потока после обрушения на каждой стадии требуется отдельное аналитическое описание с использованием соответствующих критериев, определяющих характер движения воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по выбору способов и параметров разупрочнения основной кровли при столбовой системе разработки на Старобинском месторождении / ВНИИГ. Л., 1990. 48 с.

2. Временная технологическая инструкция по применению столбовой системы разработки на Старобинском калийном месторождении / БФ ВНИИГ. Солигорск, 1987. 32 с.

3. *Гурин А.А.* Ударные воздушные волны в горных выработках / А.А.Гурин, П.С.Малый, С.К.Савенко. М.: Недра, 1983. 223 с.

4. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.

5. Разработка средств и методов нормализации пылегазового состояния атмосферы калийных рудников: Отчет по НИР (заключительный) / Ленингр. горный ин-т; Руководитель И.И.Медведев. З/н № 73, № гос. рег. 01880056594. Л., 1990. 136 с.

6. *Рыжов П.А.* Математическая статистика в горном деле. М.: Высшая школа, 1973. 287 с.

7. Технологические схемы очистной выемки калийных пластов Старобинского месторождения столбовой системой разработки / БФ ВНИИГ. Солигорск, 1984. 23 с.

REFERENCES

1. Interim operating procedure for choice of methods and characteristics of the main roof weakening with pillar system in Starobinskoe kalium mine / VNIIG. Leningrad, 1990. 48 p.

2. Interim operating procedure for pillar system mining on Starobinskoe kalium mine / BF VNIIG. Soligorsk, 1987. 32 p.

3. *Gurin A.A., Maly P.S., Savenko S.K.* Impulse air waves in mines. Moscow: Nedra, 1983. 223 p.

4. *Loyayzyansky L.G.* Fluid mechanics. Moscow: Nauka, 1987. 840 p.

5. Engineering of instruments and methods for dust air normalization in kalium mines: The final research engineering report / Leningrad Mining Insttitute; head of the work I.I.Medvedev. Z/n № 73, № f. r. 01880056594. Leningrad, 1990. 136 p.

6. *Ryzov P.A.* Mathematical statistics in mining engineering. Moscow: Vysshaya shkola, 1973. 287 p.

7. Technological scheme of kalium-face operation of Starobinskoe mine with pillar system / BF VNIIG. Soligorsk, 1984. 23 p.