

УДК 622.23:622.411:519.711

С.К. Мещанинов, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
Ю.Д. ПавловаГосударственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: pavicua@meta.ua

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫХОДА МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ДВИЖЕНИИ КОМБАЙНА

S.K. Meschaninov, Dr. Sci. (Tech.),
Senior Research Fellow,
Yu.D. PavlovaState Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: pavicua@meta.ua

MATHEMATICAL MODELING OF METHANE DISCHARGE FROM COAL BEDS DURING MOVEMENT OF A COMBINE

Исследовалось распределение содержания метана в выработанных пространствах вблизи очистных выработок для определения, на каком расстоянии в выработанном пространстве отмечаются скопления газа, которые при размывании воздушным потоком могут влиять на газовую обстановку за комбайном. Получено уравнение для расчета выхода метана с единицы длины забоя, в любой момент времени, на всем протяжении технологического цикла выемки угля.

Ключевые слова: метан, газовый фактор, газообильность, метановыделение, очистной забой

Введение. Украина располагает огромными запасами угля, добыча его осуществляется в несоизмеримо худших горно-геологических условиях, чем в других странах мира. Это – главная объективная причина больших удельных затрат материальных, энергетических, трудовых ресурсов, а также того, что производительность труда в этой отрасли намного ниже мировой.

Как известно, одной из актуальных на сегодняшний день является проблема метана, который существенно осложняет ведение горных работ, требует значительных затрат на проветривание выработок и дегазацию пластов, создает реальную угрозу возникновения пожаров и взрывов в зонах его скопления. В то же время шахтный метан – ценнейший энергоноситель, который выбрасывается в атмосферу, загрязняя её и ухудшая экологическую обстановку угледобывающих регионов.

На шахтах, разрабатывающих высокогазоносные угленосные массивы, существенно сдерживает нагрузки на лавы газовый фактор. Повышение эффективности работы дегазационно-газодобывающих систем – резерв роста как угле-, так и газодобычи. Реализация этого резерва позволит значительно поднять уровень безопасности труда горнорабочих. К тому же попутно будет использоваться ценный энергоноситель – шахтный метан.

Постановка задачи исследований. Применение новой угледобывающей техники приводит, с одной стороны, к концентрации горных работ и повышению нагрузки на очистной забой, а, с другой стороны, к ухудшению состояния проветривания очистного забоя вследствие уменьшения свободного сечения призабойного пространства при одновременном увеличении количества добываемого в единицу времени угля.

Высокопроизводительная, экологически целесообразная разработка метановых угольных пластов с применением специальных мероприятий по снижению выделений метана из сложных и разрабатываемых угольных пластов, практически не осуществима. Поэтому задача повышения нагрузки на лаву должна решаться комплексно с позиций совершенствования технологии, улучшения техники экологических показателей и одновременного решения проблемы борьбы с газом.

Для предотвращения образования опасных скоплений метана при высокой нагрузке на очистной забой, конструкции механизированных крепей должны обеспечивать рациональное воздухораспределение по технологическим дорогам, в зависимости от расположения источников метановыделения. Исследования аэрогазодинамики, выполненные в 45 очистных забоях, оборудованных традиционными механизированными крепями, показали, что характер распределения скоростей и количества воздуха по площади сечения выработок для разных типов крепей вне зоны расположения комбайна существенно не отличается. Наибольшая скорость и расход воздуха наблюдаются в сечении первой дороги, примыкающей к угольному забою. Причем, в зависимости от мощности пласта, ширины призабойного пространства и крепи, по ней проходит 70–80% движущегося по очистной выработке воздуха. Такое распределение воздушных масс способствует разбавлению метана, выделяющегося из основных источников – обнаженной поверхности пласта и отбиваемого угля.

Исследования показали, что количество воздуха, перетекающее в выработанное пространство в районе расположения комбайна, зависит, в основном, от громоздкости машинной дороги и плотности подбитки обрушившейся породы за органной крепью. Утечки могут достигать 20% общего количества воздуха, движущегося по очистной выработке. У ком-

байна поток претерпевает существенные изменения, характер которых зависит от типа машины, компоновки ее в забое и от направления выемки относительно вентиляционной струи.

Вследствие выноса метана отклонившимся в районе комбайна воздушным потоком, на границе выработанного пространства и очистной выработки (особенно вблизи вентиляционного штрека) могут наблюдаться опасные скопления. Повышенное содержание метана, как правило, фиксируется в 5–10 м от комбайна по направлению движения вентиляционной струи. Причем, опасное скопление газа перемещается по лаве по мере движения комбайна. В случае остановки опасное скопление на границе выработанного пространства с очистной выработкой ликвидируется через 2–3 мин.

В связи с этим, целью данной работы было математическое и компьютерное моделирование распределения метана в очистной выработке при движении комбайна. Для определения, на каком расстоянии в выработанном пространстве отмечаются скопления газа, которые при размывании воздушным потоком могут влиять на газовую обстановку за комбайном, исследовалось распределение содержания метана в выработанных пространствах вблизи очистных выработок. Наблюдения проведены при различных схемах проветривания выемочных участков и типах изоляторов под вентиляционным штреком. На всех объектах поступление метана из выработанного пространства составляет более 60% от общего на участке.

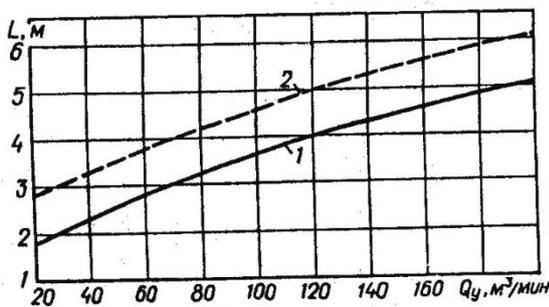


Рис. 1. Зависимость расстояния L , на которое распространяется воздушный поток в выработанном пространстве, от утечек воздуха Q_v из лавы в зоне работы комбайна: 1 – эмпирическая регрессионная кривая; 2 – доверительная граница

Выходным эффектом схемы проветривания, в том числе и при аварийной ситуации, по данным работы [1], является создаваемый ею уровень безопасности труда по фактору вентиляции, характеризуемый степенью соответствия фактического воздухораспределения требуемому. Уровень безопасности (надежности) или функциональная эффективность схемы вентиляции зависит не только от частоты отказов, но и от степени нарушения следующего неравенства

$$Q_i^{min} \leq Q_i(t) \leq Q_i^{max}; (i = 1, \dots, n_e),$$

где n_e – количество ветвей шахтной вентиляционной сети; $Q_i(t)$ – фактический расход воздуха; Q_i^{min} и Q_i^{max} – соответственно, минимально и максимально допустимые значения этой величины по критерию безопасности.

Средний уровень безопасности схемы проветривания E может быть определен следующим выражением

$$E = E_p \times K_z + E_{отк}(1 - K_z),$$

где $E_p = 1$ – уровень безопасности при работоспособном состоянии потребителя; K_z – коэффициент готовности; $1 - K_z$ – вероятность отказа.

В упрощенном виде можно выразить производительность очистного забоя $A_{о.з.}$ в виде зависимости от количества подаваемого в него воздуха Q_v и абсолютной газообильности очистного забоя $\delta_{о.з.}$

$$A_{о.з.} = \int Q_v \delta_{о.з.};$$

$$A_{о.з.} \rightarrow \max, \text{ при } Q_v \rightarrow \max \text{ и } \delta_{о.з.} \rightarrow \min.$$

При высокой газообильности участка возникает необходимость периодической остановки добычного комбайна, чтобы снизить до нормы концентрацию метана в исходящей струе лавы. Нередко это приводит к быстрому уменьшению абсолютной газообильности очистного забоя $I_{оч}$ и участка $I_{уч}$. Однако, в ряде случаев даже длительная (4–6 ч и более) остановка не снижает газообильность. На рис. 2 в качестве примера приведена зависимость абсолютной газообильности добычного участка от скорости подвигания забоя 13-ой западной лавы пласта m_3 (шахта „им. Засядько“).

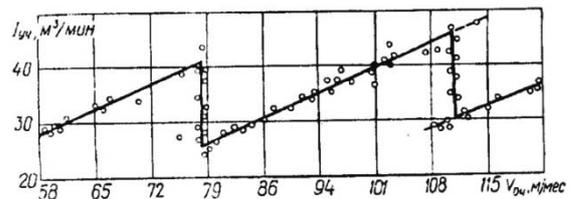


Рис. 2. Зависимость абсолютной газообильности участка от скорости подвигания очистного забоя на пласте m_3

Если рассмотреть единицу длины очистного забоя при установившемся периодическом процессе выемки угля, то можно заметить, что выделение метана из угольного пласта происходит в два этапа. Первый заключается в выходе метана с поверхности забоя и продолжается в течение времени, прошедшего с момента обнажения поверхности до возврата комбайна в эту же точку. Интенсивность метановыделения с единицы поверхности угольного пласта при этом изменяется во времени по следующему закону [2]

$$I^3(\tau) = G_{III}e^{-w\tau}, \tag{1}$$

где $G_{Пл}$ – начальная интенсивность метановыделения в момент мгновенного обнажения пласта, м³/мин, w – коэффициент, характеризующий интенсивность метановыделения с поверхности забоя.

Время, в течение которого происходит выход метана с единицы поверхности пласта в точке с координатой x (с момента обнажения до возврата комбайна в эту же точку), равно $2 \cdot (L - x) / v_K$, где v_K – средняя скорость движения комбайна, м/мин; L – длина лавы, м. Проинтегрировав выражение (1) по времени, получим количество метана, выделяющееся с единицы поверхности пласта

$$Q_{Пл} = \int_0^{\frac{2(L-x)}{v_K}} G_{Пл} e^{-w\tau} d\tau.$$

Второй этап заключается в выходе оставшегося в рассматриваемых блоках угля метана, когда они разрушаются и дробятся комбайном. Интенсивность метановыделения из единицы массы отбитого угля при этом изменяется во времени по следующему закону [2]

$$I_{OY}(\tau) = \gamma_y m_y r G_{OY} e^{-a\tau}, \quad (2)$$

где γ_y – удельный вес угля, т/м³; m_y – мощность угольного пласта, м; r – захват исполнительного органа комбайна, м; G_{OY} – начальная интенсивность метановыделения, м³/мин; a – коэффициент, характеризующий скорость газовыделения с единицы массы отбитого угля.

При построении функций регрессии по экспериментальным данным [3] найдено, что, в среднем, отношении $G_{OY} / a = 0,44$.

Проинтегрируем выражение (2) по времени за период $[0, \infty]$. Тогда количество метана, выделяющееся из отбитого угля, равно

$$Q_{OY}^1(\tau) = \int_0^{\infty} G_{OY} \gamma_y m_y r e^{-a\tau} d\tau.$$

Всего с единицы длины забоя выделится количество метана

$$Q^1 = \int_0^{\frac{2(L-x)}{v_K}} G_{Пл} e^{-w\tau} d\tau + \int_0^{\infty} G_{OY} \gamma_y m_y r e^{-a\tau} d\tau. \quad (3)$$

Если проинтегрировать выражение (3) по длине лавы, получим общее количество метана Q_y , которое содержалось в полосе угля длиной L

$$Q_y = \int_0^L \left[\int_0^{\frac{2(L-x)}{v_K}} G_{Пл} e^{-w\tau} d\tau + \int_0^{\infty} G_{OY} \gamma_y m_y r e^{-a\tau} d\tau \right] dx.$$

С другой стороны, эта полоса угля массой

$$M = \gamma_y m_y r L$$

изначально содержит количества метана Q_y

$$Q_y = M x_y,$$

где x_y – газоносность угольного пласта м³/т.

Т.е. уравнение газового баланса для этой полосы угля будет следующим

$$M x_y = \int_0^L \left[\int_0^{\frac{2(L-x)}{v_K}} G_{Пл} e^{-w\tau} d\tau + \int_0^{\infty} G_{OY} \gamma_y m_y r e^{-a\tau} d\tau \right] dx.$$

Проинтегрировав по времени, и перейдя от переменной интегрирования x к переменной t , получим

$$M x_y = \int_0^{\frac{T}{2}} \left[\frac{G_{Пл}}{\omega} + \frac{G_{OY} \gamma_y m_y r}{a} - \frac{G_{Пл}}{2\omega^2} e^{-\omega t} e^{2\omega t} \right] v_K dt, t,$$

где T – время цикла; мин, $T = 2L/v_K$.

Далее получаем

$$\gamma_y m_y r L x_y = \left(\frac{G_{Пл}}{\omega} + 0,44 \gamma_y m_y r \right) L - \frac{v_K G_{Пл}}{2\omega^2} (1 - e^{-\omega T}).$$

Отсюда начальная интенсивность метановыделения из пласта равна

$$G_{Пл}(L, v_K) = \frac{2\omega^2 \gamma_y m_y r L (x_y - 0,44)}{2\omega L - (1 - e^{-\omega T}) v_K}.$$

Таким образом, с помощью полученной формулы, можно рассчитать выход метана с единичной длины забоя в любой момент времени τ технологического цикла T .

На рис. 3 схематически изображено движения комбайна в очистном забое.

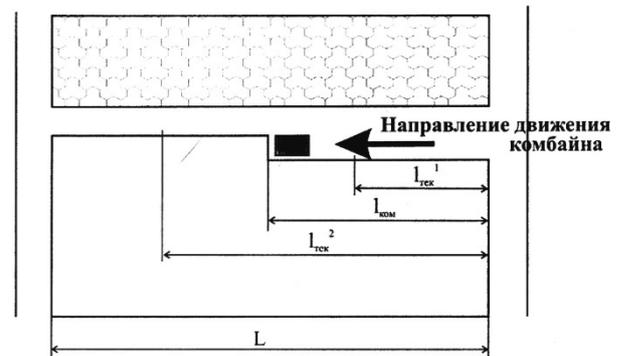


Рис. 3. Схема движения комбайна в очистном забое

Причем (рис. 3)

$$\begin{cases} \tau = \frac{l_{ком} - l_{тек}}{v_n}, \text{ если } l_{ком} > l_{тек} \\ \tau = \frac{l_{ком} + l_{тек}}{v_n}, \text{ если } l_{ком} < l_{тек} \end{cases},$$

где $l_{ком}$ – координата положения комбайна; $l_{тек}$ – текущая координата точки, для которой вычисляется выход метана.

Предполагая, что метановыделение из пород почвы и кровли имеет аналогичный характер, все приведенные выше рассуждения можно применить и для расчета выхода метана с единичной длины забоя, с учетом выхода метана из газоносных пород почвы и кровли в любой момент времени τ технологического цикла T . Но коэффициенты w , G_0^* и T_{OY}^{max} для почвы и кровли будут иметь другие значения.

Приведенный выше алгоритм был реализован как компьютерное приложение на языке Visual Basic.

Если принять $\gamma_y = 1,37 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$; $m_y = 1,0 \text{ м}$; $r = 0,8 \text{ м}$; $L = 250 \text{ м}$; $x_y = 20 \frac{\text{м}^3}{\text{м}}$; $v_n = 3 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$, то получим следующую картину распределения выхода метана из угольного пласта и отбитого угля по очистному забою в момент времени, когда комбайн находится на отметке 150 м (рис. 4).

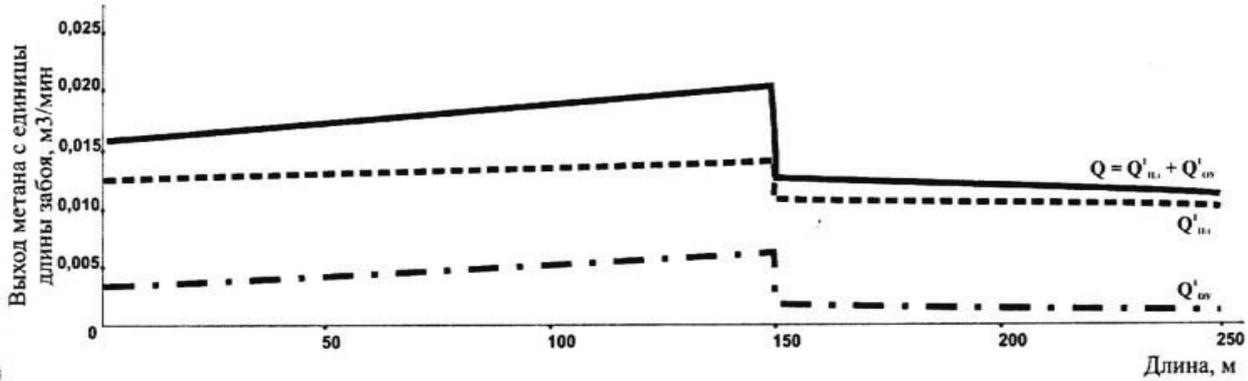


Рис. 4. Распределение выхода метана по длине очистного забоя без учета проветривания

Если учесть проветривание, например, с интенсивностью $960 \text{ м}^3/\text{мин}$, и посчитать процентное содержание метана в атмосфере очистной выработки при различных длинах лавы (200 м, 250 м и 300 м), получим, рис. 5.

Получается площадь обнаженного угольного пласта, с поверхности которого выделяется метан, и за счет значительного увеличения массы отбитого угля.

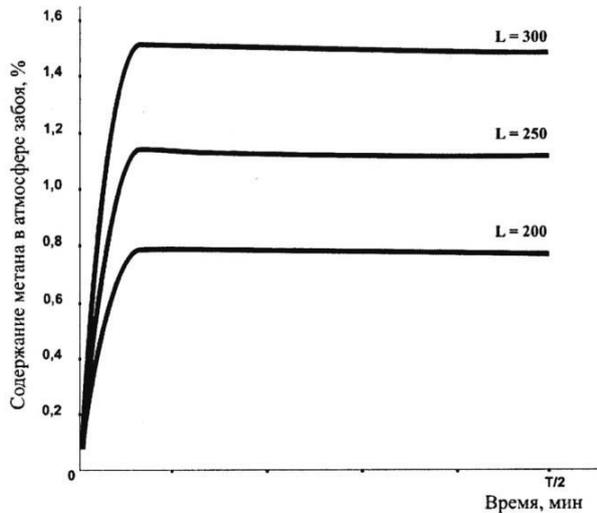


Рис. 5. Распределение содержания метана во время работы лавы, равное половине цикла

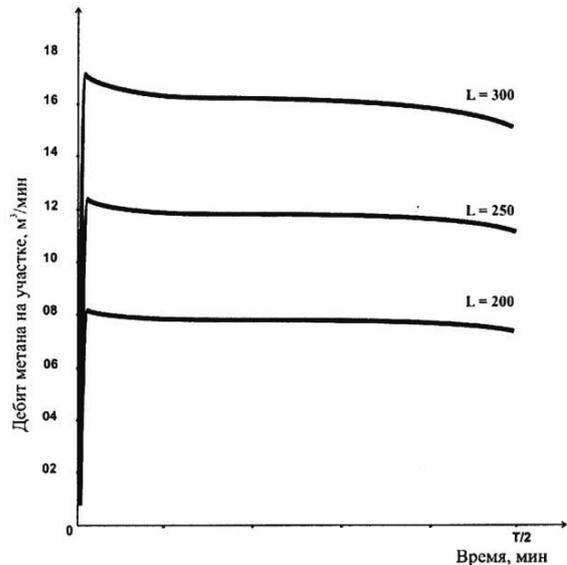


Рис. 6. Распределение дебита метана, $\text{м}^3/\text{мин}$, за время работы лавы, равное половине цикла

Изменение дебита метана на участке в зависимости от длины лавы (при тех же начальных условиях) можно проследить на графике, изображенном на рис. 6.

Как видно из рис. 5 и 6, при увеличении длины лавы на каждые 50 метров, при прочих равных параметрах, происходит повышение дебита метана на участке примерно на $4 \text{ м}^3/\text{мин}$. И это только за счет газа, выделяющегося из обнажаемого угольного пласта и отбитого угля. Содержание метана на выходе из очистного забоя при этом повышается приблизительно на 0,4%. Это происходит, в основном, за счет того, что увели-

Выводы:

- получено уравнение для расчета выхода метана с единицы длины забоя, в любой момент времени, на протяжении технологического цикла выемки угля;
- разработанный алгоритм реализован как компьютерное приложение на языке Visual Basic.

Список литературы / References

1. Петросян А.Э. Выделение метана в угольных шахтах / Петросян А.Э. – М.: Недра, 1975.–188с.
 Petrosyan A.E. Methane discharge in coal mines / Petrosyan A.E. – М.: Nedra, 1975.– 188 p.

2. Мясников А.А. Применение ЭВМ для решения задач управления метановыделением в шахтах / Мясников А.А., Садохин В.П., Жирнова Т.С. – М.: Недра, 1977. – 248 с.

Myasnikov A.A. Use of computer for solution of problems of methane discharge control in mines / Myasnikov A.A., Sadohin V.P., Zhirnova T.S. – M.: Nedra, 1977. – 248 p.

3. Петросян А.Э. Исследование режимов газовой выделенности и разработка способов управления ими при больших скоростях подвигания забоев на современных и больших глубинах разработки / Петросян А.Э. // ИГД им. А.А. Скочинского – 1968. – 32 с.

Petrosyan A.E. Study of gas discharge regimes and design of ways of its control by fast speed working face driving at deep strata / Petrosyan A.E. // A.A. Skochinskiy IGD, 1968. – 32 p.

Досліджувався розподіл вмісту метану у вироблених просторах поблизу очисних виробок для визначення, на якій відстані у виробленому просторі відзначаються скупчення газу, які при розмиванні

повітряним потоком можуть впливати на газову обстановку за комбайном. Отримано рівняння для розрахунку виходу метану з одиниці довжини забою в будь-який момент часу на всьому протязі технологічного циклу виїмки вугілля.

Ключові слова: метан, газовий фактор, багаті на газ, метановиділення, очисний забій

The distribution of methane in the worked-out area near the mining face has been studied to determine the distance at which accumulation of gas appears in the mined-out space that can affect the gas environment being rarefied by air flow behind the combine. The equation has been drawn up for calculation of the methane discharge per unit of length of the face at any time throughout the production cycle of coal mining.

Keywords: methane, gas factor, gas-bearing, methane discharge, mining face

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Солодянкиним. Дата надходження рукопису 10.03.11

УДК 622.831.3

**Н.Н. Касьян, д-р техн. наук, проф.,
И.Г. Сахно, канд. техн. наук, доц.**

Государственное высшее учебное заведение „Донецкий национальный технический университет“, г. Донецк, Украина, e-mail: sahno_i@mail.ru

НОВЫЙ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**N.N. Kasyan, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
I.G. Sakhno, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor**

State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: sahno_i@mail.ru

NEW CONCEPTUAL APPROACH TO MINE WORKINGS STABILITY MAINTENANCE

Предложено новое решение проблемы обеспечения устойчивости выработок, за счет искусственного изменения полей напряжений путем сжатия пород приконтурной зоны при саморасширении невзрывчатых разрушающих материалов и проведена проверка его принципиальной возможности. Для получения качественных характеристик способа и обоснования его параметров необходимы детальные исследования, направленные на изучение особенностей работы способа в зависимости от горно-геологических условий его применения.

Ключевые слова: горная выработка, компоненты напряжений, сжатие горных пород, невзрывчатый разрушающий материал, саморасширение

Постановка задачи. Обеспечение устойчивости подготовительных горных выработок в настоящее время остается одной из самых острых проблем угольной отрасли, актуальной как для передовых предприятий, так и для убыточных шахт с небольшим уровнем добычи. Несмотря на ежегодное увеличение металлоемкости каждого погонного метра выработки и рост затрат на ее поддержание, что связано с ухудшением горно-геологических условий с глубиной, существенного улучшения состояния горных выработок не наблюдается. Это свидетельствует о

том, что необходима разработка и внедрение новых концептуальных решений, направленных на обеспечение устойчивости горных выработок.

Известно, что проведение выработок приводит к перераспределению напряжений в массиве горных пород. С момента проведения выработки можно выделить несколько крупных стадий изменения поля напряжений приконтурных пород, их связывают с образованием вокруг выработки феноменологических зон – упругих деформаций, неупругих деформаций и разрушенных пород. Породы приконтурной зоны с течением времени последовательно проходят эти стадии. Естественно предположить, что история