

**НОВЫЕ СРЕДСТВА ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК
В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ**

Розглянуто основні положення концепції підтримання виїмкових виробок у нестійких породах. Викладено технічні характеристики і визначено галузь ефективного застосування нових засобів охорони виїмкових виробок, що задовольняють економічним і екологічним вимогам до гірничого виробництва.

**NEW MEANS FOR PROTECTION OF MINE WORKINGS
IN UNSTABLE ROCKS**

Main provisions related to the concept of maintaining mine workings in unstable rocks are considered. Specifications are given and field of efficient employment of new means for protection of mine workings that meet economic and ecological requirements to mining practice is determined

В пластовой выемочной выработке, пройденной впереди лавы и поддерживаемой на границе с выработанным пространством, суммарная величина смещения породного контура (U) складывается из смещений, происходящих вне зоны влияния очистных работ (U_0), в зоне временного опорного давления (U_1), на участке сопряжения с лавой (U_2) и в зоне остаточного опорного давления (U_3). В случае, когда выработка используется повторно, добавляются еще аналогичные смещения U_1' и U_2' , обусловленные влиянием второй лавы.

Если полную величину смещения контура выработки, пройденной впереди лавы и подвергшейся однократному влиянию очистных работ, принять равной U , то смещение контура выработки между ее забоем и забоем лавы составляет порядка $0,2U$ [1]. Две третьих этой величины приходится на участок выработки, подверженный влиянию временного опорного давления, а наиболее высокая скорость этих смещений приурочена к зоне максимума опорного давления, который при разработке пластов средней мощности находится впереди забоя лавы на расстоянии 6-10 м. Суммарные смещения контура выработки в зоне шириной 6-10 м впереди забоя лавы составляют $(0,44-0,67)(U_0 + U_1)$ м, в среднем – $0,57(U_0 + U_1)$ м. Смещение контура выработки на участке сопряжения с лавой составляет еще около $0,2U$. Поэтому у границы зоны, где выработка начинает подвергаться воздействию выработанного пространства, суммарное смещение ее контура достигает практически $0,4U$. Только начиная с этого момента можно говорить о принципиальной возможности охраны пластовой выемочной выработки со стороны выработанного пространства.

Однако в условиях неустойчивых пород охрану выемочной выработки необходимо начинать уже на участке сопряжения с лавой между максимумом опорного давления и линией обрушения пород, в пределах которого суммарные смещения ее контура изменяются от $0,11U$ до $0,4U$. Объединение двух различных по напряженно-деформированному состоянию зон в один участок обусловлено общностью технологических приемов повышения устойчивости выработки в этих зонах.

При наличии пустот в закрепном пространстве подрезанные выработкой слои пород деформируются и смещаются в полость выработки по плоскостям напластования. Вышележащие породы при этом получают возможность смещаться в выработку в вертикальном направлении, что приводит к расслоению кровли пласта еще до подхода лавы. В зоне опорного давления деформирование приконтурного массива пород активизируется, и кровля пласта дробится на блоки. После выемки угля устойчивость такой кровли определяется степенью раздробленности пород и характером контактирующих поверхностей блоков. Но в любом случае наличие в кровле блочной структуры обуславливает возможность вывалов породы на концевых участках лавы, особенно, если кровля пласта представлена слабыми неустойчивыми породами.

Сохранить технологически необходимую устойчивость кровли на участке сопряжения выемочной выработки с лавой можно путем инъектирования в расщелившийся массив скрепляющих составов, из которых наибольшее распространение получили полиуретаны [2]. Однако, отдавая должное качеству этих композиций в части адгезионной прочности и скорости отверждения, нельзя не отметить и присущие им недостатки.

Наличие множества эластичных связей придает полиуретану свойство податливости без отрыва от скрепляемых блоков породы даже при больших перемещениях, но его прочность на сжатие не превышает 0,5-1,2 МПа. Поэтому полиуретаны применяются преимущественно для кратковременного закрепления раздробленных пород, не подвергающихся высокому горному давлению. Одна из составляющих полиуретановой композиции – полиизоцианат является токсичным веществом 2-го класса. В процессе полимеризации из него в окружающий воздух может выделяться толуилдиизоцианат в количестве до 0,0048-0,0265 мг/л [3], при допустимой концентрации в воздухе 0,00005 мг/л. Последнее вещество раздражает дыхательные пути и может вызывать заболевания с хроническим поражением легких [4]. Его запах ощущается при концентрации 0,0002-0,003 мг/л, раздражающее действие – при 0,0003-0,0036 мг/л, а изменения биоэлектрической активности мозга – при 0,00005 мг/л. Кроме того, полиуретан относится к горючим веществам. При испытаниях на пожарную опасность пенополиуретана марки ППУ-304н [5] скорость распространения пламени по его поверхности составила 1,0 м/с, что на два порядка превышает скорость распространения пламени по деревянной крепи (0,014 м/с). Все это требует особых мер предосторожности при работе с компонентами полиуретановых составов.

В этой связи нами был выполнен большой объем исследований по разработке эффективного скрепляющего состава на основе менее токсичных и относительно дешевых карбамидных смол. Основной недостаток карбамидных смол заключается в том, что они являются коллоидными системами олигомеров и воды. Процесс перехода таких систем в систему «полимер-вода» протекает при изменении концентрации ионов водорода, которые катализируют реакцию взаимодействия олигомеров. Этот процесс сопровождается образованием макромолекул (гелеобразование) и их сшивкой (отверждение). Количество воды, ко-

торое выделяется в процессе поликонденсации, и конечные свойства материала зависят от типа отвердителя, его концентрации и условий отверждения. Но, как правило, все ранее известные скрепляющие составы на основе карбамидных смол имели большую усадку отвержденного материала и пониженную в сравнении с полиуретанами адгезию.

При разработке нового скрепляющего состава СКАТ была использована смола марки КФ-МТ-15, удовлетворяющая требованиям Евростандарта по содержанию остаточного формальдегида ($< 0,15\%$), и отвердитель, запускающий механизм отверждения карбамидной смолы, основанный на принципе двухстадийного преобразования полимерной композиции, который, в отличие от применявшегося ранее принципа катализации процесса образования полимера кислотами, позволил химически связать значительную часть формальдегида и воды, что обеспечило снижение токсичности отвержденного продукта, подавление в нем усадочных процессов и повышение адгезионной способности [6].

Скрепляющий состав СКАТ характеризуется высокой проникающей способностью за счет низкой вязкости (не более $250 \text{ мПа}\cdot\text{с}$), полимеризуется в средах различной степени влажности и в широком диапазоне температур, а клеевые швы обладают нулевой фильтрацией и высокой механической прочностью. Стандартное время его желатинизации изменяется от 24 до 40 мин. Через 8,0 ч после начала реакции прочность отвержденного продукта на одноосное сжатие составляет 25-31 МПа, а через 30 сут - 45-65 МПа. Конечная усадка материала не превышает 0,6-2,1 %. Адгезионная прочность состава СКАТ, в зависимости от литологического состава пород, колеблется в пределах 2,4-3,8 МПа, характеризуется высокой стабильностью и не изменяется с течением времени. За счет специфики взаимодействия смолы и отвердителя состав СКАТ в процессе полимеризации практически не выделяет свободный формальдегид. Поэтому в месте производства инъекционных работ при объемах закачки до 8,5 л/мин достаточно иметь воздухообмен, не превышающий $200 \text{ м}^3/\text{мин}$. В отвержденном виде состав СКАТ представляет собой твердое вещество от белого до светло-желтого цвета, без запаха. Комплексные испытания показали, что СКАТ относится к группе трудно горючих материалов, а по основным факторам воздействия на человека СКАТ относится к веществам 4-го класса токсичности и на основании этого допущен к широкому промышленному применению [7].

Исходя из физико-механических и физико-химических свойств состава СКАТ, представляется возможным эффективно решать широкий круг практических задач, среди которых можно выделить:

- упрочнение неустойчивых породных массивов при проведении и восстановлении подземных горных выработок;
- упрочнение угольных массивов, склонных к внезапным обрушениям и высыпаниям в очистных и подготовительных забоях крутых пластов;
- упрочнение массивов пород и грунтов для повышения устойчивости бортов карьеров, предотвращения оползней и горных обвалов;
- гидроизоляция пород вокруг контуров капитальных горных выработок;

– упрочнение фундаментов зданий и сооружений в сложных эксплуатационных условиях, в том числе на подработанных территориях.

Охрана выемочной выработки со стороны выработанного пространства осуществляется на участке, где суммарные смещения контура выработки изменяются от $0,4 U$ до U . При этом охранные конструкции, предназначенные для поддержания породной консоли на границе выработки с выработанным пространством лавы в условиях неустойчивых пород, должны обеспечивать:

– надежный равномерный контакт с боковыми породами, исключающий образование опасных концентраторов напряжений;

– быстрое нарастание сопротивления, препятствующего дезинтеграции пород кровли;

– податливость, достаточную для расслоения пород кровли;

– поддержание отслоившихся пород кровли и их обрушение за пределами охраняемого пространства.

Для эффективного решения перечисленных выше задач впервые в горной практике в качестве материала для возведения ограждающих крепежных конструкций был использован газобетон автоклавного отверждения.

В условиях неустойчивых пород газобетон, как крепежный материал, имеет лучшие механические характеристики, чем деревянные и железобетонные конструкции (рис. 1).

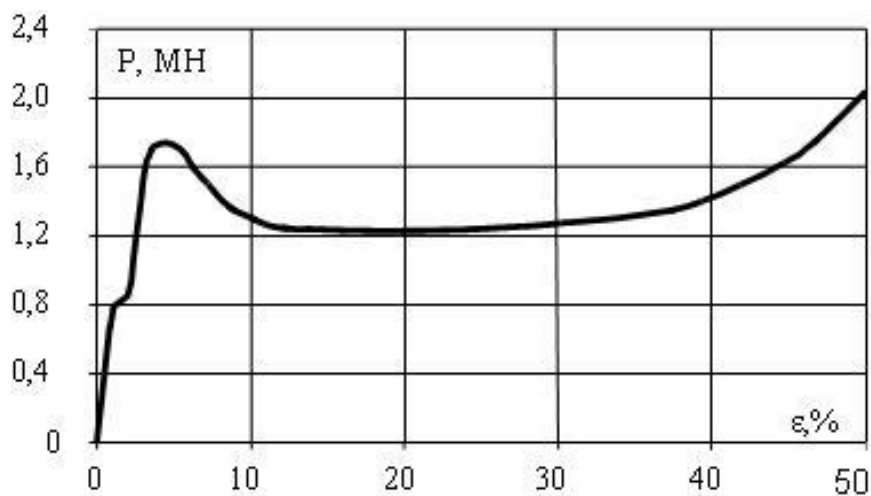


Рис. 1 – Механическая характеристика газобетонной тумбы размерами $1,0 \times 1,0 \times 1,0$ м

В отличие от конструкций из традиционных материалов, газобетонная крепь характеризуется быстрым нарастанием и высоким, практически постоянным рабочим сопротивлением при величине податливости до 30 %, а податливые крепи постоянного сопротивления по деформационным характеристикам в значительно большей степени, чем крепи нарастающего сопротивления, соответствуют характеру смещения пород кровли и лучше препятствуют их расслоению.

В качестве элементов крепежных конструкций используются стандартные блоки из автоклавного газобетона плотностью 700 кг/м^3 , прочностью на одноосное сжатие не менее $5,0 \text{ МПа}$ и с углом внутреннего трения $\rho = 50\text{-}60^\circ$.

Газобетонные крепежные конструкции характеризуются:

- умеренным пиковым сопротивлением, исключающим возможность обгрызания крепи неустойчивыми, легко обрушающимися породами;
- постоянством несущей способности в сочетании с высокой удельной работой сопротивления деформированию, что снижает вероятность расслоения тонкослойной кровли и обрушений пород;
- необходимой податливостью, обеспечивающей локальную разгрузку массива горных пород в окрестности крепежной конструкции;
- огнестойкостью, отсутствием токсичности и подверженности коррозии и гниению.

Вышеизложенное позволяет рассматривать газобетон автоклавного отверждения как перспективный крепежный материал, который дает возможность получить качественные крепежные конструкции для неустойчивых пород там, где железобетонные конструкции являются слишком жесткой крепью, а деревянные крепи не могут препятствовать расслоению пород кровли.

Новые средства охраны выемочных выработок прошли промышленные испытания в двадцати пяти выработках шестнадцати шахт Донецкого каменноугольного бассейна, в том числе: газобетонные крепежные конструкции – в двадцать одной выработке четырнадцати шахт (рис. 2); скрепляющий состав СКАТ – в четырех выработках трех шахт.



Рис. 2 – Крепежная конструкция из газобетонных блоков в виде тумбы (сопряжение 15-й восточной лавы пласта l_1 с вентиляционным штреком на шахте «Красногвардейская»)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якоби, О. Практика управления горным давлением / О. Якоби; пер. с нем. Ф.Ф. Эйнера. – М.: Недра, 1987. – 566 с.
2. Васильев, В.В. Технология физико-химического упрочнения горных пород / В.В. Васильев, В.И. Левченко. – М.: Недра, 1991. – 267 с.

3. Научные разработки институтов охраны труда ВЦСПС. – М., 1971.– Вып. 73.– С. 75-78.
4. Вредные вещества в промышленности. Т. II. Органические вещества: справочник для химиков, инженеров и врачей / под ред. Н.В. Лазарева. – 7-е изд., пер. и доп. – Л.: Химия, 1976. – 624 с.
5. Сальников, В.К. Испытания покрытий из пенопластов на пожарную опасность / В.К. Сальников, А.И. Исачкин // Сб. науч. тр. ДонУГИ. – Донецк, 1977. – № 63. – С. 226-233.
6. Канин, В.А. О механизме отверждения карбамидной смолы изометилтетрагидрофталевым ангидридом / В.А. Канин, А.В. Пашенко // Полімерний журнал. – 2007. – XXIX, № 3. – С. 208-213.
7. Технология упрочнения горных пород, углей и грунтов на основе использования синтетических материалов. Методические указания: КД 12.01.001-2000. - К.: Минтопэнерго Украины, 2001. – 25 с.

УДК 622.822.225

Асп. И. Г. Старикова
(ИФГП НАН Украины)

МАССОПЕРЕНОС КИСЛОРОДА В ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ УГЛЯХ

У роботі розглянуто масоперенос кисню в газонасиченій вугільній речовині з урахуванням його сорбції вугіллям. У рамках запропонованої моделі масопереносу встановлено, що глибина проникнення кисню у вугільний масив пропорційна квадратному кореню з коефіцієнта масопереносу кисню і обернено пропорційна константі швидкості сорбції.

MASS TRANSFER OF OXYGEN IN GAS-SATURATED COAL

The paper considers oxygen mass transfer in a gas-saturated coal substance with accounting of gas sorption by coal. Within the frameworks of the proposed mass transfer model, it was established that the penetration depth of oxygen into a carbon array is proportional to the square root of the mass transfer coefficient of oxygen and inversely proportional to the constant of sorption rate.

Возникновение и развитие процесса самонагрева ископаемого угля определяется процессом поглощения (сорбцией) углем кислорода с последующим окислением угля и выделением тепла. Степень окисления, при прочих равных условиях, зависит от фракционного состава угля и его метанонасыщенности. В литературе и нормативных документах в основном приведены результаты по кинетике сорбции кислорода мелкофракционным классам ископаемых углей с содержанием метана, не превышающим 10-15% от их газоносности. В то же время установлено [1,2], что при газонасыщенности угольных фракций более 5 м³/т процесс окисления их кислородом не активизируется. Этот результат наиболее свойствен угольным целикам, оставленным в зонах геологических нарушений и целикам, прилегающим к горным выработкам. Интенсивность газовыделения таких объектов прямо пропорциональна количеству метана, пористости угля, эффективной диффузии и обратно пропорциональна квадратному корню из времени дегазации [3].

Стандартная оценка времени десорбции метана из системы микроблоков при их размере $R \approx 5 \cdot 10^{-5}$ м и коэффициенте диффузии $D \approx 10^{-6}$ м²/с показывает практически мгновенный выход метана из области целика. Время выхода основного метана, находящегося в закрытых порах и растворенного в полимерной структуре угля, пропорциональны квадрату линейного размера целика и может составлять годы. Поэтому активация угольного вещества кислородом может осуществляться только при десорбции основного метана до величин менее 5 м³/т. с. б.