

УДК 622.272

Ю.М. Левкин, С.Ю. Левкина, М.Ю. Левкин

**ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ
ОХРАННЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ ЦЕЛИКОВ ПОДЗЕМНЫХ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ
ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Приведены методы контроля состояния вторично используемых выработок и результаты экспериментальной проверки акустического критерия достаточности несущей способности охранного закладочного целика на одной из шахт Восточного Донбасса.

Массовое закрытие шахт, в процессе реструктуризации угольной промышленности, ставит ряд острых экономических, экологических и социальных проблем в соответствующих регионах страны. Одним из направлений их решения является вторичное использование подземного выработанного пространства для различных целей, например таких как складирование и переработка (уничтожение) твердых бытовых отходов [1]. Не отрицая очевидных положительных сторон развития этого направления, необходимо отметить, что его практическая реализация будет неизбежно сопровождаться достаточно серьезными рисками в области технологической и экологической безопасности. Одной из важнейших причин этих рисков следует считать потерю устойчивости соответствующих выработок, которые изначально проектировались исходя из принципиально иных условий и времен эксплуатации. Кроме того, ясно, что состояние этих выработок на момент начала их вторичного использования существенно отличается от

исходного и в принципе плохо прогнозируется.

Сущность рисков, возникающих при потере устойчивости вторично используемых подземных выработок заключается не только в том, что последние перестают выполнять свои функции (например функции изоляции), но еще и в том, что указанная потеря неизбежно приводит к изменению напряженно-деформированного состояния и нарушенности окружающей экологической среды. Причем, если выработанное пространство находится на относительно небольших глубинах (что, в частности, характерно для Московского угольного бассейна), потеря его вещественно-энергетической устойчивости может привести к серьезным изменениям поведения подземной гидросферы и поверхностного рельефа, а это в свою очередь чревато возникновением аварийных ситуаций и даже техногенных катастроф. Отметим также, что поскольку степень чувствительности или инертности окружающей геологической среды к потере устойчивости выработок априори неизвестна, надежное про-

гнозирование указанных аварийных ситуаций и катастроф представляет себя проблематичным.

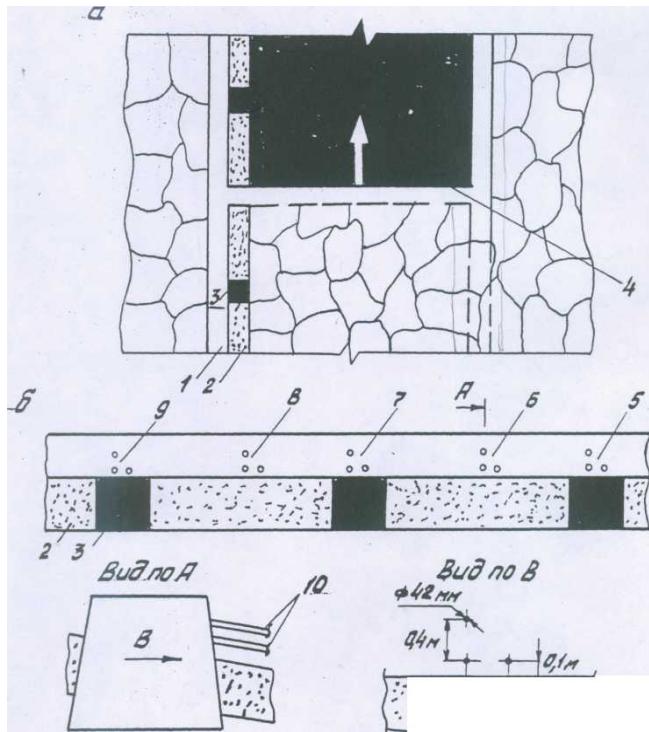
Таким образом, процессы вторичного использования подземного выработанного пространства следует признать процессами повышенной опасности. При этом можно выделить два основных направления снижения рисков, связанных с этими процессами. Первое из них предполагает изначальное проектирование и сооружение подземных выработок с учетом специфики (включая фактор времени) их будущего вторичного использования, а второе - применение на всех стадиях вторичного использования выработок контроля их устойчивости, реализуемого в режиме непрерывного или дискретно - непрерывного мониторинга. Такой контроль позволит принимать своевременные и адекватные меры по управлению состоянием соответствующих конструктивных элементов выработанного пространства, повышая тем самым их устойчивость. Учитывая то, что абсолютно безопасных природно-технических объектов не существует, и в тоже время потеря устойчивости подземной горной выработки всегда предшествует период направленной динамики ее состояния, мониторинг за их состоянием позволяет принять необходимые меры инженерной защиты окружающей среды и минимизировать возможный ущерб.

Для контроля состояния вторично используемых выработок могут применяться самые разнообразные геологические, маркшейдерско-геодезические и геофизические методы. Выбор конкретного из указанных методов будет зависеть от горно-геологических условий залегания выработки, ее конструктивных параметров и спосо-

бов обеспечения устойчивости. В рамках настоящей работы рассматриваются вопросы геоконтроля для случая когда поддержание устойчивости вторично используемых горных выработок осуществляется с использованием охранных закладочных целиков, возводимых из быстротвердеющих материалов. Эффективность противодействия этих целиков силам горного давления зависит как от физико-механических свойств указанных материалов, так и от режимов и условий их твердения. В связи с этим необходимо осуществлять контроль несущей способности закладочных целиков непосредственно в процессе их возведения. Сущность такого контроля иллюстрируется рис. 1, а и 1, б. На первом из них представлена схема охраны выработки, а на втором - схема расположения и конструкция ультразвуковых замерных станций. Получаемая в области этих станций измерительная информация позволяет оценивать несущую способность закладочных целиков в процессе изменения их естественного нагружения при перемещении фронта очистных работ (ФОР).

В кровле пласта непосредственно над закладочными целиками и между ними (под угольными целиками 3) вдоль охраняемой выработки 1 располагают замерные станции 5-9, состоящие из трех шнурков диаметром 42 мм, пробуренных в вершинах прямоугольного треугольника с катетами длиной примерно 0,4 м.

До начала очистных работ (или когда их влияние на контролируемые охранные целики отсутствует) измеряют скорости C_p распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в замерных станциях, расположенных



между охранными целиками. На рис. 1, б - это станции с нечетными номерами 5, 7, 9.

Затем, по мере подвигания ФОР 4, периодически измеряют значения C_p во всех замерных станциях и сравнивают результаты этих измерений попарно в каждой двух соседних из них (например, станциях 6 и 7, 8 и 9).

В зависимости от положения ФОР относительно контролируемого целика, для оценки его несущей способности по результатам указанного сравнения используют два различных акустических критерия. Первый из них (соответствующий опережающему контролю) применяется во временном интервале между моментом полного отвердевания закладочного материала и

до тех пор, пока ФОР не пересечет сечение замерной станции над контролируемым целиком. Второй критерий используется при удалении ФОР от этого сечения до расстояния, не превышающего шаг обрушения кровли.

Обоснование указанных критериев базируется на следующих физических предпосылках. Результаты измерения скоростей распространения УЗК в кровле над целиком несут информацию о динамике напряжений в самом целике, поскольку напряжения в системе «кровля-целик» распределены непрерывно. Причем закладочный целик, являясь более жесткой

конструкцией, чем соседний целик угля, должен оказывать большее сопротивление действию сил горного давления. При приближении ФОР к закладочному целику нагрузка на него возрастает. Если этот целик нормально выполняет свои охранные функции (противостоит силам возрастающего горного давления), то при этом возрастают напряжения в кровле над ним, а следовательно и значения C_p в соответствующей замерной станции [2]. Причем эти значения, очевидно, будут превышать скорости распространения УЗК, измеренные в соседней замерной станции (по ходу ФОР), расположенной над целиком угля.

При удалении ФОР от замерной станции контролируемого целика, (нормально выполняющего свои защитные функции) последний не может снять с себя нагрузку до тех пор, пока это не сделают естественные силы гравитационного поля при обрушении кровли. До момента этого обрушения напряжения, действующие в кровле охранного целика, очевидно, не могут быть меньше напряжений, действовавших до начала очистных работ. Следовательно, и скорости распространения УЗК над контролируемым целиком не может быть меньше исходной скорости. Если же закладочный целик разрушается и деформируется под действием горного давления, то произойдет разгрузка участка кровли над ним до уровня напряжений ниже исходных, соответственно и значение C_p станет здесь меньше чем исходное.

Таким образом, акустический критерий достаточности несущей способности охранного закладочного целика может быть записан в виде следующих соотношений

$$C_{z.u}^i > C_{om.z.}^{i+1} \text{ при } t \leq t_0, \quad (1)$$

$$C_{z.u}^i \geq C_{om.z.}^{i+1} \text{ при } t > t_0, \quad (2)$$

где t_0 - момент пересечения фронтом очистных работ сечения замерной станции контролируемого целика; $C_{z.u}^i$ - скорость распространения УЗК в i -ой замерной станции (над закладочным целиком); $C_{om.z.}^{i+1}$ и $C_{m.z.}^{i+1}$ скорости распространения УЗК в $(i+1)$ -й замерной станции (между закладочными целиками) до начала и в процессе ведения очистных работ соответственно.

Рис. 1. Схема охраны выработки с использованием закладочных целиков (а) и схема расположения и конструкция ультразвуковых замерных станций для контроля этих целиков (б): 1-охраняемая выработка; 2 - закладочный целик из быстротвердеющих материалов; 3 - угольный целик; 4 - фронт очистных работ; 5-9 - замерные станции; 10 - измерительные шпуры

Экспериментальная проверка описанного способа проводилась на одной из шахт Восточного Донбасса, где охрана вентиляционного штрека на выемочном участке осуществлялась путем возведения цементногипсовых закладочных целиков длиной 7 м, между которыми оставлялись угольные целики длиной 2 м (см. рис. 1). Размер участка по простирианию - 500 м, по падению - 200 м, глубина - 520 м, средняя мощность пласта - 1,2 м, его угол падения на участке лавы - $(13\div24)^\circ$. Уголь средней прочности ($f = 2$) с включениями пирита и кварца. Кровля представлена песчаными сланцами мощностью $(0,5\div3)$ м. с $\delta_{cjk} = 746 \text{ кг}/\text{см}^2$ и $f = 7$.

Измерения в замерных станциях осуществлялись с помощью ультразвукового прибора УК - 14П с количеством шнуровых преобразователей на частоте 60 кГц. Характерное значение скорости $C_{om.z.}^{i+1}$ составляло 2300 м/с и отличалось от скорости, измеренной над соседним закладочным целиком не более чем на 3 %.

При приближении ФОР к устойчивым целикам скорость распространения УЗК в кровле, над ними, монотонно увеличивалась в пределах 18 – 25 %, достигая максимального значе-

ния 2900 м/с. При удалении ФОР от указанных целиков до момента обнаружения кровли, значение скорости уменьшалось на 10–15 % от имевшего место максимума, но всегда оставалось большим, чем соответствующее значение $C_{\text{ом.з.}}^{i+1}$.

Если при приближении ФОР к закладочным целикам последние деформировались и разрушались (что регистрировалось визуально, то скорости распространения УЗК над ними изменялись монотонно и незначительно (в пределах 7 %), достигая максимального значения $C_{\text{ом.з.}}^i \approx 2460$ м/с. Причем значения

$C_{\text{м.з.}}^{i+1}$ над соседними (по ходу ФОР) угольными целиками увеличивалось примерно также или в чуть большей степени (то есть до 8-9 % от исходных значений).

При удалении же ФОР от деформированных закладочных целиков скорости над ними уменьшались по сравнению с исходными значениями $C_{\text{ом.з.}}^{i+1}$ на 8-12 %. Таким образом, соотношения (1) и (2) для закладочных целиков, не обладающих необходимой несущей способностью, то есть не способных выполнять свои охранные функции, не выполняются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закоршменный И.М. Оценка возможности использования подземного пространства закрываемых угольных шахт для размещения отходов. Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд. МГГУ. - 2003. - №3.-С.101-102.
2. Шкуратник В.Л. Горная геофизика. Ультразвуковые методы. – М.: МГИ. - 1990. – 130 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Левкин Ю.М. – доктор технических наук,
Левкина С.Ю. – аспирантка,
Левкин М.Ю. – студент,
Московский государственный горный университет.
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкуратник.



ДИССЕРТАЦИИ

**ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ
ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
МИРОНЕНКОВА Наталья Александровна	Обоснование рациональных схем вентиляции при эксплуатации же- лезнодорожных тоннелей в радионо- опасных районах России с суровым климатом	05.26.01	к.т.н.