

УДК 622.831

К выбору критерия целесообразности повторного использования подготовительных выработок

Выполнено обоснование критериального значения параметра «остаточное сечение выработки». Показано, что именно остаточное сечение выработки после прохода лавы может быть тем параметром, по которому можно оценить целесообразность принятия решения об использовании выработки повторно. Установлен вид функции, связывающей объема ремонтных работ и их стоимость с остаточным сечением штрека. Мотивировано его минимально рациональное для повторного использования значение, равное 8,5 м², что позволяет обосновывать параметры систем крепления штрека и определять параметры охранных конструкций на сопряжении лава–штрек. Исследовано влияние угла наклона пласта на параметры принятой геомеханической системы.

Ключевые слова: повторное использование, подготовительная выработка, угол крепи, падения пласта, система крепи, ремонтные работы.

Контактная информация: lajana1985@gmail.com

Постановка проблемы, актуальность исследования. Угольные месторождения Украины характеризуются значительной глубиной залегания пластов, небольшой мощностью и сложными горно-геологическими условиями, что предопределяет высокую стоимость отечественного угля, снижая его конкурентоспособность как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Новая добычная техника (комбайны, струги) обладает такой производительностью, что работы по нарезке новых лав отстают во времени, не обеспечивая требуемую длину очистных забоев. При этом снижается количество добываемого угля и повышается его стоимость. Таким образом, исследования, направленные на снижение себестоимости угля и повышение его конкурентоспособности, – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное значение для Украины.

Смещения контура выработки определяют эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом. Большие смещения породного контура приводят к существенному уменьшению ее устойчивости и увеличению затрат на ремонт и поддержание. Поэтому повышение устойчивости выработок главным образом должно быть основано на применении способов и средств, направленных на снижение смещений приконтурного массива.

Повторное использование конвейерных штреков возможно только тогда, когда затраты на приведение их в эксплуатационное состояние не превышают стоимость сооружения новой выработки. Впервые такую задачу решил И. Н. Попович [1–3], который в качестве кри-



С. Н. ГАПЕЕВ,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



М. В. БАРАБАШ,
инженер
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



А. О. ЛОГУНОВА,
канд. техн. наук
(Национальный горный университет)

терия возможности повторного использования подготовительных выработок в горно-геологических условиях глубоких шахт ГП «Антрацит» обосновал предел среднего значения смещений контура выработки, равный 0,4 м. Ориентируясь на это значение, была обоснована конструкция рамно-анкерной крепи и ширина охранной конструкции со стороны лавы.

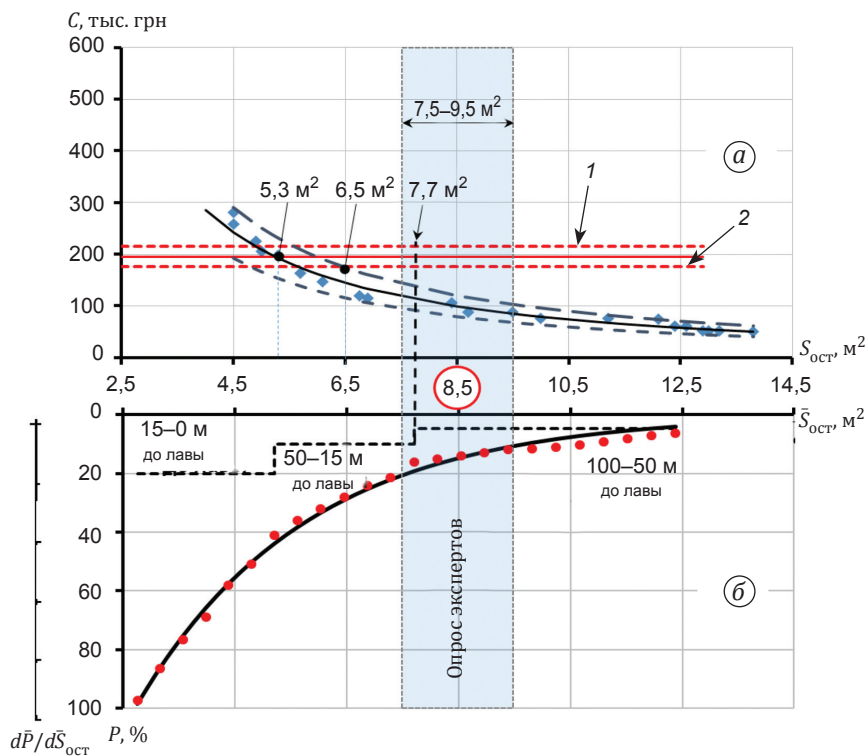


Рис. 1. Зависимости суммы ремонтно-восстановительных работ и проведения новой выработки (а), а также доли ремонтов (б) от площади остаточного сечения конвейерного штрека на уровне окна лавы: 1 – стоимость строительства нового присечного вентиляционного штрека; 2 – стоимость ремонтно-восстановительных работ конвейерного штрека, который предполагается использовать повторно; $d\bar{P}/d\bar{S}_{ост}$ – интенсивность изменения среднего объема ремонтных работ \bar{P} при изменении среднего значения остаточного сечения $\bar{S}_{ост}$

Однако реальные смещения контура подготовительной выработки, находящейся в зоне влияния лавы, несимметричны. При этом практически всегда перемещения со стороны лавы преобладают, нередко намного превышая перемещения боковых пород и кровли, что делает предложенный И. Н. Поповичем критерий недостаточно удобным.

В развитие данного подхода к оценке целесообразности повторного использования подготовительных выработок в работах А. О. Логуновой [4, 5] обоснован более удобный критерий. Исследования, положенные в его основу, выполненные в условиях шахты «№ 1-3 Новгородовская» ГП «Селидовуголь», дают возможность применять этот критерий на шахтах ООО «ДТЭК Добропольеуголь», расположенных в пределах Красноармейского углепромышленного региона.

Результаты исследований. Исследования проводились в подготовительных выработках

лав на экспериментальных участках, где выполнялись натурные измерения и наблюдения за развитием геомеханических процессов в течение разных этапов эксплуатации выработок. Замерные станции [5–7] оборудовали в выработках, закрепленных арочной податливой крепью типа КМП-А3. Паспортная площадь поперечного сечения выработок составляла 13,8 m^2 в свету.

Горно-геологические условия, в которых выполнялись исследования, оценивали показателем условий разработки [8]

$$\theta = R_{сж} k_c / (\gamma H),$$

где $R_{сж}$ – предел прочности горных пород на сжатие, МПа;
 k_c – коэффициент структурно-механического ослабления;
 γ – объемный вес горных пород, kH/m^3 ;
 H – глубина заложения горной выработки, м.

Кроме того, были рассмотрены архивные данные, полученные в маркшейдерской службе

шахты по выработкам, которые эксплуатировались в 1993–2012 гг.

В качестве критерия реального состояния откаточного штрека по мере перемещения забоя лавы был принят параметр «остаточное сечение», значение которого определяли на замерной станции как отношение площади текущего сечения выработки к паспортной.

Анализ измерений показал, что по мере приближения к лаве относительное остаточное сечение выработки нелинейно уменьшается с паспортного значения на расстоянии 100 м до лавы до определенного минимума в окне лавы. Аналогичный вывод был сделан и в отношении объемов ожидаемых ремонтных работ, необходимых для восстановления площади сечения выработки в целях повторного использования. Они состоят из замены разрушенной затяжки, замены и ремонта деформированных рам крепи и уборки вспученных пород подошвы выработки. Зави-

симость стоимости ремонта штрека от площади остаточного сечения, которая получена после обработки стоимостных параметров локальных смет [9–12] на ремонт и проведение нового штрека, показана на рис. 1, а.

На рис. 1, б, кроме зависимости доли ремонтов от остаточного сечения, также показана интенсивность изменения доли ремонтных работ в зависимости от площади относительного остаточного сечения штреков. Положение скачков интенсивности отвечает трем участкам по длине выработки: 100–50 м; 50–15 м; 15–0 м до лавы, которые характерны для всех рассмотренных выработок.

Стоимость выполнения ремонтных работ повышается по мере уменьшения площади остаточного сечения по степенному закону вида

$$C_p = 2 \cdot 10^6 (\bar{S}_{\text{ост}})^{-1,4} \leq C_{\text{пр}},$$

откуда

$$\bar{S}_{\text{ост}} = (2 \cdot 10^6 / C_{\text{пр}})^{1/1,4},$$

где C_p – стоимость ремонтно-восстановительных работ, грн;

$\bar{S}_{\text{ост}}$ – площадь среднего остаточного сечения штрека, м²;

$C_{\text{пр}}$ – стоимость проведения нового штрека, грн.

При площади остаточного сечения на уровне окна лавы 5,3 м² (см. рис. 1) стоимость ремонтно-восстановительных работ становится равной стоимости проведения нового штрека, т. е. дальнейшее уменьшение площади сечения штрека делает его повторное использование нецелесообразным по экономическим соображениям. Также надо учитывать, что реальная стоимость проведения нового штрека и ремонтно-восстановительных работ может колебаться в пределах 20 %. Тогда минимально допустимую площадь остаточного сечения на уровне окна лавы следует принять 6,5 м². При этом объемы ремонтных работ будут максимальны и предельно допустимы.

Как указывалось, по длине выработки можно выделить три участка с различной интенсивностью ремонтных работ. При этом первый скачок интенсивности (при расстоянии до лавы 50 м) соответствует площади остаточного сечения штрека, равной 7,7 м². Этот участок имеет особое значение, исходя из оценки повторного использования выработки, так как отра-

жает ситуацию, когда состояние выработки впервые достаточно резко изменяется в сторону снижения устойчивости. Если остаточное сечение в выработке удастся сохранить на уровне первого скачка интенсивности ремонтных работ, то можно ожидать минимально необходимого объема ремонтно-восстановительных работ.

Проанализировав результаты опроса экспертов (опытных специалистов шахты), видим, что целесообразно рассматривать проведение ремонтно-восстановительных работ для повторного использования штрека при остаточной площади выработки в свету от 7,5 до 9,5 м². Таким образом, средняя площадь остаточного сечения (по мнению экспертов) должна составлять не менее 8,5 м² (см. рис. 1).

Из анализа приведенных оценок площади остаточного сечения следует, что в качестве критерия экономической целесообразности повторного использования штрека в рассматриваемых условиях рационально принять остаточную площадь сечения выработки в свету, равной 8,5 м² (см. рис. 1).

Устойчивость подготовительной выработки можно обеспечить, возводя рамно-анкерную крепь и охранные конструкции со стороны лавы. Их разные комбинации позволяют достичь требуемого уровня сохранности повторно используемой выработки. Анализ исследований показывает, что при различных видах и размерах систем охраны возможно удовлетворить требование к минимальной рациональной остаточной площади выработки в окне лавы, равной: 8,5 м² – накатный костер из шпального бруса шириной 3,2 м; 8,8 м² – полоса из смеси «Текхард» шириной 2 м; 8,6 м² – тумбы БЖБТ шириной 1,8 м. Однако не все данные конструкции одинаковы по стоимости и удобны технологически.

Так, полосу из смеси «Текхард» возводят выкладкой полос из мешков с сухой смесью и затворением их водой в уложенном состоянии. В результате эта охранный конструкция наиболее технологична из рассмотренных жестких конструкций. Однако очень высокая стоимость смеси «Текхард» и ее значительный расход на возведение охранный полосы заданных размеров – наименее интересный вариант.

Охранный конструкция из накатных костров обеспечивает в модели критериальное значе-

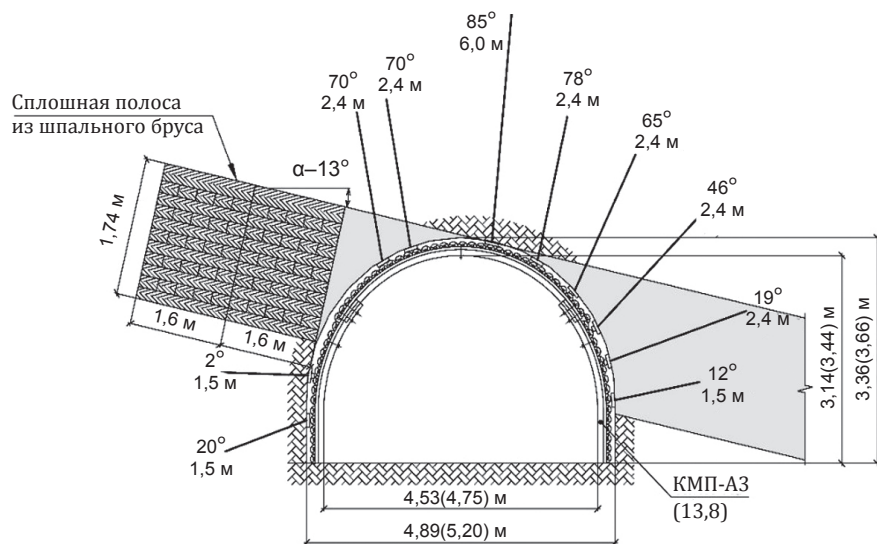


Рис. 2. Конструкция рамно-анкерной крепи и охранной конструкции.

ние площади остаточного сечения, при этом оказываясь приемлемой по стоимости и удобной в технологическом плане. Исследования были выполнены для применения охранной конструкции в виде накатных костров из шпального бруса и анкерной системы (рис. 2). Подробнее параметры такого сочетания охранной конструкции и рамно-анкерной системы крепи описаны в работах [4, 5]. Отрабатывали вариант двухуровневой анкерной системы: стандартные сталеполимерные и деревянные анкеры, установленные непосредственно в призабойной части штрека при его подвигании, составляли первый уровень системы, а

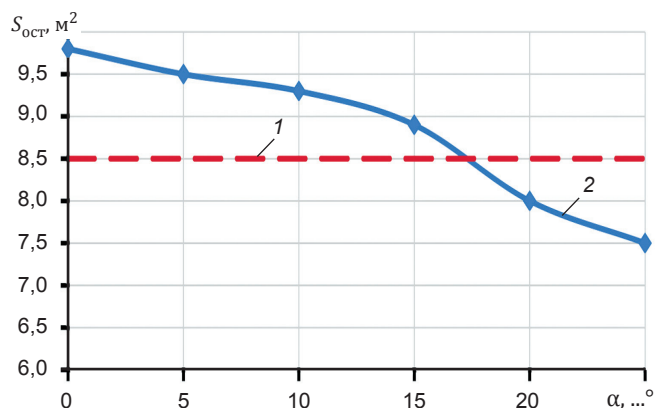


Рис. 3. Зависимость площади остаточного сечения выработки $S_{ост}$ от угла падения угольного пласта α : 1 – критериальное остаточное сечение выработки; 2 – фактическое расчетное остаточное сечение выработки.

дополнительное анкерование на основе канатных анкеров, возводимое при приближении лавы к рассматриваемому участку выработки, – второй уровень. Стандартную рамную крепь КМП-А3 также монтировали.

Как показали исследования [4, 5], предложенная система охраны в комбинации с основной рамно-анкерной крепью штрека позволила обеспечить остаточную площадь сечения выработки на уровне 8,5 м² и снизить стоимость ремонтно-восстановительных работ в 1,8 раза, что создало условия для его повторного использования.

Однако, используя рассмотренный критерий для других шахт Красноармейского угольного региона, следует иметь в виду, что угол падения угольных пластов может отличаться от условий проведения эксперимента. Поэтому была выполнена оценка характера изменения критерия – остаточного сечения выработки – при разных углах падения пласта. Такая зависимость, полученная в результате численного эксперимента с применением метода конечных элементов при рассмотренной (базовой) системе охраны и крепи, представлена на рис. 3.

Характер изменения критерия при разных углах падения пласта имеет нелинейный характер и может быть описан (с коэффициентом корреляции 0,99) функцией вида

$$S_{ост} = 9,76 - 0,011\alpha - 0,0044\alpha^2 + 0,00004\alpha^3.$$

Из рис. 3 также следует, что при углах падения пласта 0–18° площадь остаточного сечения при рассмотренных в задачах системах охраны и крепления штрека остается не ниже установленного минимального рационального значения, равного 8,5 м². Однако, если углы падения свыше 18°, то критерий остаточной площади не выдерживается, хотя она и сохраняется в пределах, указанных экспертами (см. рис. 1). Следовательно, требуется корректировка параметров системы охраны.

Выводы. Выполненный комплекс натуральных наблюдений, технико-экономической оценки

и анализа данных о состоянии конвейерных штреков позволяет утверждать, что по мере приближения очистного забоя к рассматриваемому сечению конвейерного штрека его площадь остаточного поперечного сечения изменяется по квадратичному закону.

В данных горно-геологических условиях остаточное сечение конвейерного штрека в районе окна лавы принимает значение, равное $8,5 \text{ м}^2$, которое может быть принято в качестве критерия экономической целесообразности повторного использования выработки, исходя из которого возможно обосновывать параметры систем крепления штрека и охраняемых конструкций на сопряжении лаваштрек.

Следует учитывать, что в горно-геологических условиях шахт Красноармейского промышленного района площадь остаточного сечения конвейерного штрека, принятая в качестве критерия повторного использования подготовительных выработок, уменьшается при увеличении угла падения угольных пластов по линейному закону. Это позволяет корректировать параметры базового варианта системы крепи и охранной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сдвижкова Е. А. Геомеханическая оценка эффективности крепления и охраны участковых выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» / Е. А. Сдвижкова, И. Н. Попович, И. В. Дудка, О. А. Кузьева // Вісн. Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2014. – № 4. – С. 82–91.
2. Сдвижкова Е. А. Исследования геомеханических процессов на сопряжение подготовительной выработки с лавой в условиях шахты «Комсомольская» ГП «Антрацит» / Е. А. Сдвижкова, И. Н. Попович, И. В. Дудка // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 72–79.
3. Солодянкин А. В. Обоснование мероприятий по повышению устойчивости подготовительных выработок ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит» / А. В. Солодянкин, И. Н. Попович, И. В. Дудка // Перспективы развития строительных технологий: материалы 8-й Международ. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 24–26 апр. 2014 г. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – С. 85–90.
4. Гапеев С. Н. Критериальная величина остаточного сечения конвейерного штрека, используемого повторно / С. Н. Гапеев, А. Е. Григорьев, А. О. Логунова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (16). – С. 90 – 99. – (Наукометрична база Index Copernicus).
5. Логунова А. О. Геомеханическое обоснование целесообразности повторного использования подготовительных выработок угольных шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.09 / Александра Олевовна Логунова. – Днепропетровск, 2016. – 20 с.
6. Шашенко А. Н. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок / А. Н. Шашенко, А. В. Солодянкин // Наук. вісн. НГУ. – 2007. – № 1. – С. 44–49.
7. Скобенко А. В. К вопросу обеспечения длительной устойчивости капитальных выработок ОП «Шахта «Россия» ГП «Селидовуголь» / А. В. Скобенко, Д. И. Кобзарь, А. В. Халимендик, А. В. Халимендик // Форум гірників-2014: матеріали міжнарод. конф., 1–4 жовт. 2014 р. – Дніпропетровськ, 2014. – Т. 2. – С. 212–219.
8. Сдвижкова Е. А. Анализ проявлений горного давления при проведении протяженных выработок в районе мелкоамплитудных геологических нарушений на примере уклона блока № 10 ШУ «Покровское» / [Е. А. Сдвижкова, К. В. Кравченко, А. В. Халимендик и др.] // Наук. пр. УКРНДМІ НАН України. – 2011. – Вип. 9 (Ч. 1). – 525 с.
9. Шашенко А. Н. Некоторые задачи статистической геомеханики / А. Н. Шашенко, С. Б. Тулуб, Е. А. Сдвижкова. – К.: Пульсари, 2002. – 304 с.
10. Найдыш А. М. О влиянии глубины разработки на стоимость поддержания штреков в пологих угольных пластах Донбасса / А. М. Найдыш, А. С. Братишко, Г. Л. Чуйков // Уголь. – 1963. – № 7. – С. 20–23.
11. Григор'єв О. Є. Обґрунтування економічної ефективності використання рамно-анкерного кріплення підземних гірничих виробок / О. Є. Григор'єв, Р. М. Терещук, О. М. Шашенко // Форум гірників-2014: матеріали міжнарод. конф., 1– 4 жовт. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2014. – Т. 2. – С. 187–191.
12. Grigoriev O. Assessment of efficiency AMS-A (anchor – meshwork – shotcreting) support structure in terms of coal mines / O. Grigoriev, R. Tereschuk, L. Tokar // Theoretical and practical solutions of mineral resources mining. – Netherlands: CRC Press / Balkema, 2015. – P. 85–89.