

УДК 622.272.3: 622.272.4: 622.831.3

*к.т.н. Левчинский Г.С.,
(МПВП «Поиск», г. Антрацит, Украина),
Палейчук Н.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

Наведено результати досліджень зміни собівартості вугілля від загальної довжини підтримуваних виробок в умовах шахт ДП «Антрацит». Встановлено характер деформування приконтурного масиву і елементів кріплення. Наведено оптимальні форми поперечних перетинів виробок і кріплення в умовах глибоких шахт.

***Ключові слова:** виробки, собівартість, поперечний перетин, оптимальна форма, кріплення нового технічного рівня.*

Приведены результаты исследований изменения себестоимости угля от общей длины поддерживаемых выработок в условиях шахт ГП «Антрацит». Установлен характер деформирования приконтурного массива и элементов крепи. Приведены оптимальные формы поперечных сечений выработок и крепей в условиях глубоких шахт.

***Ключевые слова:** выработки, себестоимость, поперечное сечение, оптимальная форма, крепи нового технического уровня.*

В настоящее время на шахтах Украинского Донбасса наиболее распространенным типом поперечного сечения выработок, а соответственно и крепи, является арочная форма. Однако практика эксплуатации сечения данного типа показывает, что в современных геомеханических условиях, когда разработка ведется на глубинах свыше 1000 м, в подавляющем большинстве случаев безремонтное поддержание выработок практически невозможно. С каждым годом возрастает количество перекреплений, что соответственно ложится на себестоимость угля, а затраты на ремонтно-восстановительные работы часто превосходят затраты на проведение и крепление выработок. Особенно остро данная проблема наблюдается в Восточном Донбассе, где зачастую требуют ремонта до 70% выработок.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показывает, что сегодня большинство работ посвящено исследованиям в области техно-

логии сооружения выработок, анализу НДС в различных условиях и т.д. Однако работ посвященных обоснованию адаптации параметров выработок и крепей к действующей нагрузке не много. В этой связи необходимо исследовать альтернативные типы поперечного сечения и крепей, параметры которых в большей степени соответствовали-бы современным горно-геологическим и геомеханическим условиям, а их применение позволило-бы сократить количество ремонтируемых выработок и повысить технико-экономические показатели работы угольных шахт.

Целью статьи является обоснование необходимости изменения формы поперечного сечения и типа крепи выработок шахт Восточного Донбасса.

Основной задачей развития подземного комплекса угольных шахт является долговременное поддержание разветвленной сети горных выработок в эксплуатационном состоянии. Но сегодня это довольно сложная задача, требующая существенных материальных и трудовых затрат. Так по состоянию на 01.01.2011 полная стоимость проведения 1 м выработки для условий Восточного Донбасса составляет $7 \div 16$ тыс. грн. в зависимости от площади поперечного сечения и горно-геологических условий. Стоимость перекрепления 1 м выработки с заменой арочной крепи, как правило, превышает затраты на проведение на 20-40%. Поскольку при существующих типах поперечных сечений и металлокрепей безремонтного поддержания выработок в условиях Восточного Донбасса добиться не удастся, становится очевидно, что увеличение протяженности поддерживаемых выработок будет значительным образом сказываться на себестоимости 1 т угля, что наглядно демонстрирует зависимость на рисунке 1.

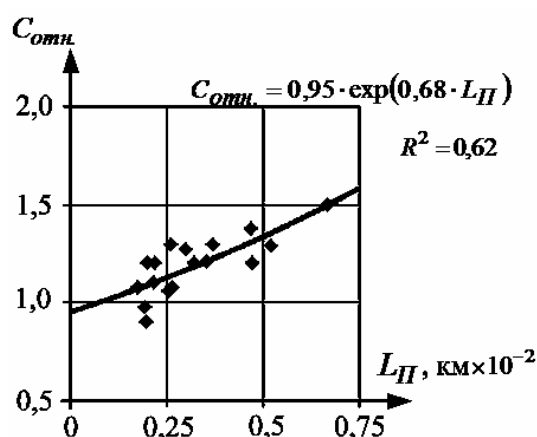


Рисунок 1 – Зависимость относительной себестоимости 1 т угля от общей длины поддерживаемых выработок пласта h_{10} шахт ГП «Антрацит»

Анализ зависимости на рисунке 1 показывает, что в подавляющем большинстве фактическая себестоимость превышает плановую на $10 \div 35\%$, а в отдельных случаях – на 50% . Современное состояние выработок шахт ГП «Антрацит» кроме отрицательной экономической составляющей включает в себя нарушение целого ряда нормативных документов [1, 2 и др.], а отдельные участки представляют прямую опасность для работающих там людей.

В работе [3] участки выработок по показателю устойчивости ω_N , определяемым отношением количества работоспособных рам металлокрепки к общему их числу на исследуемом участке, были классифицированы на четыре типа и для них приведены данные о вероятности вывалообразований.

Исходя из распределения вероятностей вывалообразований на различных участках [3], наибольшее число вывалов происходит в зонах I-го типа. Учитывая, что со временем практически 100% зон II-го типа переходят в зоны I-го типа, очевидна тенденция к постоянному увеличению количества вывалообразований. На рисунке 2 представлено распределение количества зон II-го и I-го типов в исследуемых диапазонах глубин разработки.

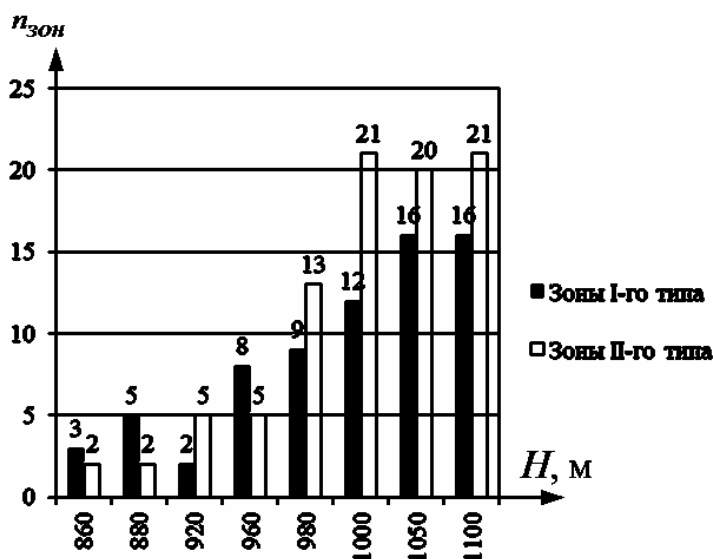


Рисунок 2 – Распределение по глубине численности зон II-го и I-го типов в выработках шахт ГП «Антрацит»

Анализ диаграммы распределения на рисунке 2 показывает, что с ростом глубины количество зон II-го и I-го типов возрастает, а соответственно растет и вероятность вывалообразований.

В результате исследования характера деформирования контура выработок и элементов крепления было установлено следующее:

- характер действующей нагрузки на крепь в зонах различных типов определяется неравномерностью разрушения пород по длине и сечению выработки вследствие воздействия ряда факторов: угла напластования пород, геологической нарушенности, вариации значений мощности пород и их деформационно-прочностных свойств и в большинстве исследуемых выработок имеет асимметричную направленность;

- после исчерпания конструктивной податливости крепи в зонах II-го и I-го типа наблюдался прогиб верхняка синклиналиной складчатой структуры, изгиб стоек и разрыв скоб замковых соединений, а в местах сопряжения стоек и верхняка происходила фрагментация профиля СВП стойки;

- потеря площади поперечного сечения выработки в зонах II-го и I-го типа на глубинах 880 ÷ 1115 м достигала 30-40%, а затяжка практически полностью была разрушена.

Таким образом, дальнейшее увеличение протяженности выработок при существующих типах поперечных сечений и крепи без применения научно обоснованных технических решений будет способствовать экономической нецелесообразности подземной разработки в данных условиях.

Одной из основных причин, постоянно ухудшающихся эксплуатационных условий является несоответствие существующих геометрических параметров выработок напряженно-деформированному состоянию (НДС) в части оптимальности формы поперечного сечения. Ключевым условием сохранения заданных размеров и формы поперечного сечения отверстий является условие постоянства напряжений на контуре:

$$\sigma_{\rho} + \sigma_{\theta} = \sigma_1 + \sigma_2 = const, \quad (1)$$

где σ_1 , σ_2 – соответственно вертикальные и горизонтальные напряжения, заданные на бесконечности.

С точки зрения оптимизации НДС системы крепь-массив, т.е. условия при котором достигается постоянство напряжений действующих на контуре, наиболее приемлемой формой поперечного сечения одиночной выработки является эллипс с соотношением радиусов:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \lambda, \quad (2)$$

где a – горизонтальный радиус;

b – вертикальный радиус эллипса;

λ – коэффициент бокового распора.

В работе С.В. Мартыненко [4] была доказана целесообразность использования эллипсоидной формы поперечного сечения с позиций минимизации изгибающих моментов. Ним были получены контуры оптимальных сечений при различных значениях коэффициента бокового распора, которые представлены на рисунке 3.

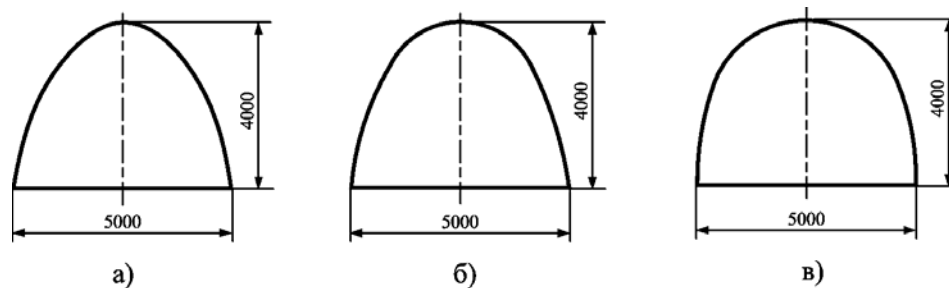


Рисунок 3 – Оптимальные формы поперечного сечения ($15,5 \text{ м}^2$) для различных соотношений вертикальной и боковой нагрузок: *а* – при значении $\lambda = 0,3$; *б* – при $\lambda = 0,4$; *в* – при $\lambda = 0,5$.

Несмотря на внешнее сходство оптимальных типов сечений с арочной формой, в особенности *б* и *в* (рисунок 3), ключевое отличие заключается в том, что в данных формах отсутствуют прямолинейные элементы, чем обеспечивается минимизация изгибающих моментов и постоянство напряжений на их контуре.

Полученные формы поперечных сечений наиболее оптимальны для одиночных горизонтальных выработок. И. Н. Булычевым в результате численного решения была получена форма поперечного сечения для условий асимметричного нагружения, имитирующего наклоннозалегающие слои пород или влияние рядом расположенной выработки.

Полученное оптимальное сечение представляет собой полуэллипс со смещенной вертикальной осью (рисунок 4)[5].

И. Н. Булычевым было установлено, что смещением вертикальной оси полуэллипса можно добиться снижения концентрации напряжений на контуре выработки за счет их выравнивания в противоположащих стенках [5].

Таким образом, существующие научные разработки в значительной мере способны обеспечить качественное эксплуатационное состояние выработок при дифференцированном подходе и широком их использовании. Одним из перспективных направлений, способным обеспечить надлежащий уровень поддержания выработок является адаптация форм крепей к оптимальной для соответствующих ГГУ форме поперечного сечения.

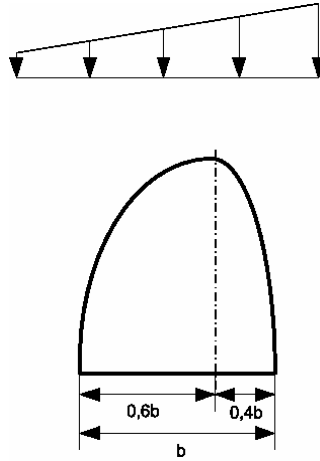


Рисунок 4 – Оптимальная форма поперечного сечения в условиях асимметричной нагрузки

Проведя анализ выпускаемых в настоящее время отечественных конструкций металлокрепей было установлено, что по параметрам оптимальности формы поперечного сечения, а также минимизации изгибающих моментов в элементах крепи для условий глубоких шахт наиболее перспективной является разработанная в Западно - Донбасском научно - производственном центре «Геомеханика» двухрадиусная крепь КМП-А3Р2, -А4Р2 и -А5Р2, внешний вид которой представлен на рисунке 5.

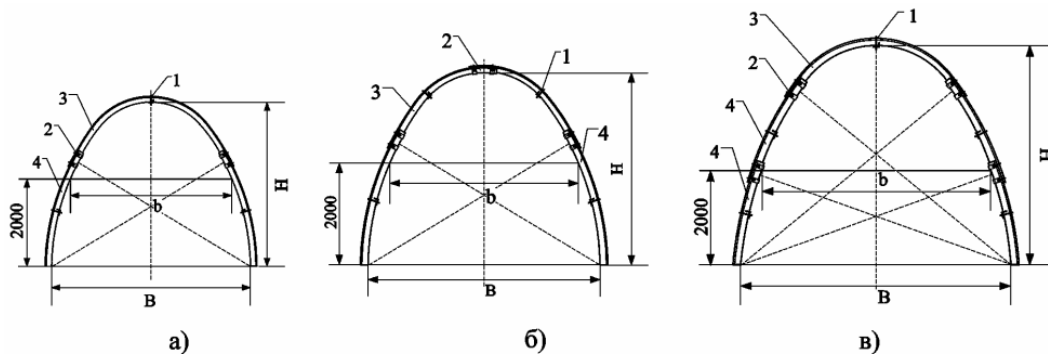


Рисунок 5 – Конструктивное исполнение крепей нового технического уровня КМП-Р2: а – трехзвенной А3, б – четырехзвенной А4,

в – пятизвенной А5; 1 – межрамная стяжка, 2 – узел податливости, 3 – верхняк (для четырехзвенной крепи – элемент составного верхняка), 4 – стойка.

Последняя имеет форму овоида, максимально приближенного к эллипсу. Кроме этого крепи КМП-АхР2 отличаются увеличенной грузонесущей способностью и значительной податливостью по сравнению

с типовыми металлокрепями КМП и АП. Хотя стоимость овоидных крепей на 15-20 % выше, чем арочных, экономический эффект от внедрения инновационного крепления на этапе эксплуатации многократно превышает первичные прямые затраты [6].

Выводы

1. В условиях глубоких шахт Восточного Донбасса в подавляющем своем большинстве выработки имеют арочную форму и закреплены соответствующей крепью, однако данная форма является морально устаревшей и не обеспечивает надлежащего уровня эксплуатационного состояния выработок, что, как показано в статье, в дальнейшем может привести к экономической нецелесообразности в связи с ростом фактической себестоимости, так как безремонтное поддержание выработок данной формы при существующих геомеханических условиях не представляется возможным.

2. На сегодня обоснованы оптимальные формы поперечного сечения выработок, при которых достигается постоянство напряжений действующих на их контуре, а также минимизируются изгибающие моменты, чем обеспечивается длительное сохранение заданных размеров и форм.

3. В настоящее время выпускаются крепи нового уровня, соответствующие критерию оптимальности формы и обеспечивающие безремонтное поддержание выработок, однако широкое их применение на шахтах скорее исключение.

Библиографический список

1. *Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10 / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – Офіц. вид. – К.: Друк. ДП «Редакція журналу Охорона праці», 2010. – 430 с.: табл. – (Нормативно-правовий акт з охорони праці).*

2. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: ДНАОП 1.1.30-6.09.93 / Государственный комитет Украины по надзору за охраной труда. – К.: Основа, 1994. – 312 с.: ил., табл. – (Государственный нормативный акт об охране труда).*

3. *Должиков П.Н. Исследование влияния различных факторов на устойчивость горизонтальных выработок глубоких шахт / П.Н. Должиков, Н.Н. Палейчук // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №1. – С.23-29.*

4. *Мартыненко С.В. Задача подготовки исходных данных для расчета параметров металлической крепи и ее реализация на системе управления базами данных «Visual Fox Pro 6.0» / С.В. Мартыненко // Горнодобывающая промышленность Украины и Польши: Актуальные проблемы и перспективы: Украинско – Польский форум горняков, (Ял-*

та, 13-19 сент. 2004 г.). - Национальный горный ун-т. – Д., 2004. – С. 92-104. – (Библиогр. в конце ст.)

5. Булычев И.Н. К вопросу оптимизации контуров поперечных сечений протяженных горизонтальных выработок / И.Н. Булычев // Известия Тульского государственного университета: (серия: Геомеханика. Механика подземных сооружений). – 2004. – Вып. 2. – С.62-67.

6. Прокопенко В.И. Экономическая целесообразность внедрения инновационных крепей на шахтах / В.И. Прокопенко, А.В. Кириченко, В.Я. Кириченко // Уголь Украины. – 2011. – №3. – С.18-22.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.