

**УДК 622.281.5: 624.046**

**Д. Н. Макшанкин, А. В. Ремезов, В. А. Гоголин, И. А. Ермакова**

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АРОЧНОЙ КРЕПИ С ПРОФИЛЕМ ШП НА ШАХТАХ КУЗБАССА**

Повышение эффективности работы угольной промышленности невозможно без увеличения темпов проведения подготовительных выработок и обеспечения надежного их поддержания. Опыт разработки угольных месторождений показывает, что наблюдается ухудшение горно-геологических условий и увеличение протяженности поддерживаемых горных выработок. При этом обеспечение устойчивости горных выработок затруднено несовершенством конструкции крепей и технологии крепления, а также отсутствием эффективных средств механизации возведения крепей.

Анализ объемов крепления по различным видам крепей горных выработок для ОАО «Кузбассуголь», ОАО УК «Кузнецкуголь», ОАО «ОУК «Южкузбассуголь», ОАО «СУЭК» в г. Ленинск-Кузнецке показывает, что доля металлических крепей в общем объеме крепления горных выработок остается значительной и достигает 46-54%. В Кузбассе применяют подковообразную арочную трехзвенную крепь как жесткой, так и податливой конструкции. Для изготовления металлических рамных крепей применяется специальный желобчатый профиль типа СВП (специальный взаимозаменяемый профиль).

Рассмотрение опыта использования металлических крепей, изготовленных из профилей типа СВП, выявил следующие основные факторы, снижающие эффективность их применения.

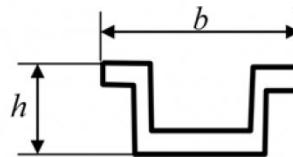
1. Не обеспечивается полный контакт соединяемых звеньев по всему контуру поперечного сечения, то есть фланцам, стенкам и днищу, что обуславливает нарушение конфигурации крепи при увеличении нагрузок, отрыв днища профиля, и недостаточно высокую несущую способность крепи, особенно в податливом режиме.

2. Для размещения крепи в выработке требуется увеличение площади поперечного сечения выработки на 2,3-5,5 м<sup>2</sup> (19,7-29,5%) и выемки дополнительного объема горной массы на 1 п. м. пройденной выработки 3,5-8,3 м<sup>3</sup> или 6,0-14,3 т.

3. Имеет место значительная незакрепленная часть выработки между фланцами смежных рам крепи, которая составляет 85-87% при расстоянии между рамами 1 м. Это приводит к неустойчивости рам и их скручиванию. Это объясняется низким соотношением между шириной профиля  $b$  и его высотой  $h$ , которое составляет 1,2-1,3 и является недопустимо низким для качественного поддержания выработок (Рис.1).

Перечисленные недостатки могут быть устранены одним способом: уменьшением высоты и увеличением ширины профиля, то есть разработ-

кой нового профиля. Расчет рациональных геометрических параметров нового профиля крепи проводился следующим образом. При заданной площади поперечного сечения изменялись геометрические параметры крепи, и производился расчет коэффициентов несущей способности материала, то есть отношения моментов сопротивления сечения профиля к его массе. При этом выделялись профили с теми параметрами, при которых коэффициенты несущей способности были наибольшими. При решении поставленной задачи были найдены наиболее рациональные параметры, при которых коэффициенты несущей способности материала были более высокими, чем для применяемого профиля СВП. Таким образом, был разработан новый профиль типа ШП (шахтный профиль) сортамента 13-32, для которого отношение ширины к высоте составляет 3,6-2,9 [1].



*Рис.1. Профиль металлической крепи*

Как показали расчеты, выполнение металлической крепи из профиля ШП вместо профилей СВП и колоколообразных позволяет получить следующие результаты. За счет увеличения ширины профиля увеличивается площадь поддержания горных пород выработки по контуру рамы крепи на 96,8-151,4%, и снижается величина незакрепленной выработки между фланцами смежных рам крепи на 17,6-26,5%. Уменьшение высоты профиля позволяет также уменьшить площадь поперечного сечения горной выработки в проходке на 1-3%, что обуславливает снижение объема выемки горной массы на 1 п. м выработки на 2,9-12,5 м<sup>3</sup>. За счет более рациональных параметров сечения профиля снижение массы и стоимости крепи составляет 1-7%. Уменьшение высоты профиля снижает коэффициент аэродинамического сопротивления закрепленных горных выработок на 7-11%. Таким образом, можно говорить о том, что применение крепи из профиля ШП позволяет повысить устойчивость и улучшить проветривание закрепляемых горных выработок при снижении затрат на производство крепи и ведение горных работ.

Важной задачей является исследование поведения арочных крепей с профилем ШП при взаимодействии с массивом горных пород в подготов-

вительных выработках в различных геомеханических условиях. Для решения поставленной задачи использовался метод конечных элементов.

Предварительно было проведено математическое моделирование методом (МКЭ) стендовых испытаний крепей с профилем СВП и ШП [2, 3]. Результаты моделирования показали следующее:

1. Экспериментальные стендовые испытания арочных трехзвенных крепей жесткой и податливой конструкции могут быть математически смоделированы методом конечных элементов. Погрешность расчетов несущей способности крепей с профилем СВП-22, СВП-26 составляет 6,0-9,7%, а величины погрешности смещений прогиба верхняка составляют 5,0-8,4 %.

2. Арочная крепь податливой конструкции, изготовленная из нового профиля ШП, имеет более высокую несущую способность по сравнению с крепью из профиля СВП на 5,3-9,2%. Поэтому профиль ШП может быть использован при изготовлении арочных крепей с сортаментом 21, 26.

Полученные результаты позволили расширить область исследований и рассмотреть состояние

выработки. Получены следующие результаты. На глубине разработки 200 м выработка сохраняет устойчивость, а на глубине 600 м происходит разрушение выработки по ее верхнему и боковому контуру и частично в почве (рис. 2а). Область разрушения показана темным цветом (при  $\sigma_{Mo} > 2 \cdot 10^6 \text{ H/m}^2$ ).

Поэтому интерес представляет взаимодействие арочной крепи с массивом горных пород именно на глубине 600 м, которая является предельной глубиной разработки на шахтах Кузбасса. Крепь с профилем ШП-21 полностью сохраняет прочность и устойчивость, что показано на рис. 2б). В сечении крепи прочностные значения  $\sigma_{Mo}$  принимают значения не более  $1-2 \cdot 10^8 \text{ H/m}^2$ , что значительно меньше допустимых значений, которые составляют  $\sigma_{Mo} = 4 \cdot 10^8 \text{ H/m}^2$ .

Анализ графиков распределения напряжений в массиве горных пород в сечениях 1, 2, 3, 4 в направлении от крепи показал, что значения  $\sigma_{Mo}$  в сечениях 1 и 2 уменьшаются по сравнению со

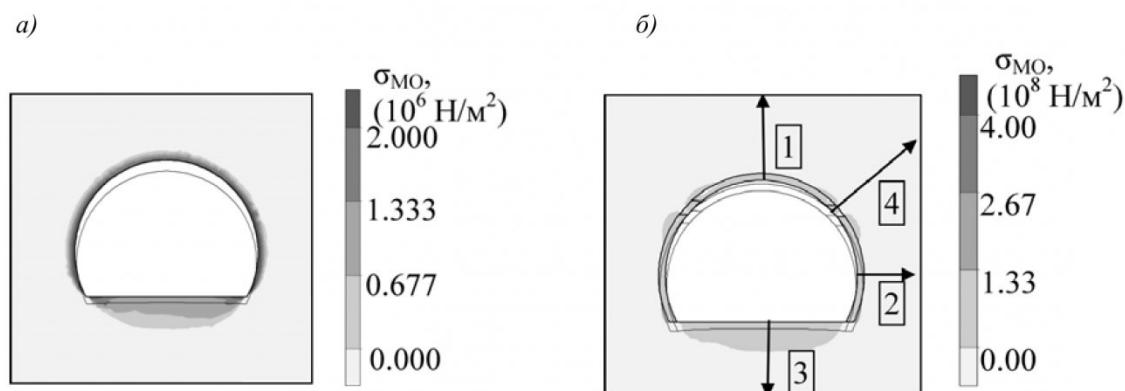


Рис. 2. Значения критерия Мора  $\sigma_{Mo}$  в массиве горных пород вокруг незакрепленной выработки (а) и в арочной трехзвенной крепи податливой конструкции с профилем ШП-21 (б) на глубине 600 м

массива горных пород и крепи, а также их взаимодействие [4]. Для этого были смоделированы геометрические, деформационные и прочностные характеристики крепи и массива горных пород, а также поставлены граничные условия и условия нагружения подготовительной выработки. Крепь реальных размеров в плоском сечении по центру профиля, как и массив горных пород, находится в плоско-деформированном состоянии. В массиве горных пород была выделена прямоугольная область с размерами, которые не менее чем в три раза превосходят размер выработки. В качестве массива горных пород рассматривался аргиллит и алевролит средней прочности с коэффициентом прочности 2-4, плотностью  $\gamma = 2500 \text{ кг/m}^3$  со следующими деформационными параметрами: модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ , коэффициент попечных деформаций  $v = 0,26$ .

В первую очередь было рассмотрено состояние массива горных пород вокруг незакрепленной

случаем без крепления выработки. При этом разрушение горных пород не наблюдается. Таким образом, наличие крепи с профилем ШП-21 в подготовительных выработках с сечением в свету  $9,7 \text{ м}^2$  оказывает положительное влияние на геомеханическое состояние массива горных пород, на его устойчивость и целостность.

Далее было исследовано влияние начального напряженного состояния массива горных пород, а именно: глубины разработки  $H$ , определяющей вертикальные напряжения, и коэффициента бокового распора  $\lambda$ , задающего горизонтальные напряжения, на прочностное и деформационное состояние крепи с профилем ШП-21. В экспериментах измерялись максимальные значения критерия Мора в верхняке, в стойке и замке при глубине разработки  $H = 200, 400, 600, 800 \text{ м}$  и значениях коэффициента бокового распора  $\lambda = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ . Анализ результатов показал, что из трех рассмотренных элементов крепи наиболее слабым

местом является замок, который первым начинает терять прочность при увеличении глубины разработки.

По результатам исследований было найдено уравнение регрессии:  $H_{пред} = 367,6 \cdot \lambda + 1112,1$ , которое позволяет вычислить максимальную предельную глубину проведения подготовительной выработки при любом значении  $\lambda$ , при которой крепь сохраняет несущую способность. Значения предельной глубины проведения подготовительной выработки с креплением трехзвенной крепью из профиля ШП-21 по ее прочности находится в

при этом промышленное внедрение крепей из профиля ШП позволяет получить интегрированный экономический эффект от рационализации операций и использования ресурсов на шахте, результаты его расчета приведены в таблице. Основой экономического эффекта является уменьшение металлоемкости профилей ШП по сравнению с профилем СВП и уменьшение высоты профиля, что позволяет уменьшить затраты на проветривание и выемку горной массы при размещении крепи в выработке, снизить трудоемкость работ при проходке и время проходческого цикла.

#### Расчет интегрированного экономического эффекта

№	Вид эффекта	Стоимость на 1000 п. м проходки
1	Снижение платы за электроэнергию при возможном уменьшении мощности электродвигателей вентиляторов (П)	85394,88 руб.
2	Снижение энергозатрат на выемку горной массы ( $\mathcal{E}_{\Delta V}$ )	1200 руб.
3	Снижение металлоемкости крепи $\mathcal{E}_{DM}$	1060935,08 руб.
4	Снижение трудоемкости работ $\mathcal{E}_T$	56110 руб.
5	Снижение времени проходческого цикла $\mathcal{E}_K$	25253,12 руб.
	Интегрированный эффект	1228893 руб.

диапазоне  $H_{пред} = 1219 \div 1579$  м для  $\lambda = 0,25 \div 1,25$  соответственно.

Полученные результаты позволяют обоснованно рекомендовать профиль ШП к внедрению,

Интегрированный экономический эффект при замене профиля СВП27 на профиль ШП-26 составляет около 1,23 млн. руб. на 1000 п. м проходки выработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремезов А. В. Основные виды крепления горных выработок и методика расчета технических параметров/ А. В. Ремезов, В. Г. Харитонов, Д. Н. Макшанкин, А. Ф. Брынько, В. В. Ермак. – Кемерово, «Кузбассиздат», 2007. – 306 с.
2. Макшанкин Д. Н. Математическое моделирование стендовых испытаний арочных крепей в жестком режиме // Д. Н. Макшанкин, В. А. Гоголин, А. В. Ремезов// Экономика Кузбасса: Научно-инновационный и социально-экономический журнал. – 2009. – №6(47). – С. 28–30.
3. Макшанкин Д. Н. Математическое моделирование стендовых испытаний арочных крепей податливой конструкции // Д. Н. Макшанкин, В. А. Гоголин, А. В. Ремезов// Топливно-энергетический комплекс и ресурсы Кузбасса: региональный научно-производственный и социально-экономический журнал. – 2010. – №1(48). – С. 29–31.
4. Макшанкин Д. Н. Взаимодействие трехзвенных арочных крепей из профиля ШП с массивом горных пород в подготовительных выработках // Д. Н. Макшанкин, В. А. Гоголин, А. В. Ремезов, И. А. Ермакова // Топливно-энергетический комплекс и ресурсы Кузбасса: региональный научно-производственный и социально-экономический журнал. – 2010. – №2(49)– С. 18–22.

□ Авторы статьи:

Макшанкин Денис Николаевич, соискатель разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом КузГТУ, тел. 8-3842-39-69-09	Ремезов Анатолий Владимирович , докт.техн.наук, проф. каф. разработки месторожде- ний полезных ископаемых подземным способом КузГТУ, тел. 8-3842-39-69-09	Гоголин Вячеслав Анатольевич, докт.техн.наук, проф. каф. математики КузГТУ, тел. 8-3842-51-67-34	Ермакова Инна Алексеевна, докт. т.ехн. наук, проф. каф. математики КузГТУ, тел. 8-3842-51-67-34
--	--	--	---