

В.Я. Кириченко

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ БОЛЬШИХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ

Рассмотрены действующие тенденции крепления горных выработок с ростом глубины разработки и геомеханические требования к деформационно-силовым характеристикам крепи для сложных горно-геологических условий эксплуатации. Обоснована приоритетность параметра работоспособности крепи и определены эффективные интервалы необходимых деформационно-силовых характеристик для снижения металлоемкости крепления горных выработок. Даны конструктивные особенности и основные параметры крепей нового технологического уровня овоидного исполнения. Представлены результаты промышленного применения овоидных крепей на глубоких шахтах Украины.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ДЛЯ ВЕЛИКИХ ГЛУБИН РОЗРОБКИ

Розглянуто діючі тенденції кріплення гірничих виробок із зростанням глибини розробки і геомеханічні вимоги до деформаційно-силових характеристик кріплення для складних гірничо-геологічних умов експлуатації. Обґрунтовано пріоритетність параметра працездатності кріплення та визначені ефективні інтервали необхідних деформаційно-силових характеристик для зниження металоємності кріплення гірничих виробок. Дано конструктивні особливості та основні параметри кріплень нового технічного рівня овоїдного виконання. Представлені результати промислового застосування овоїдних кріплень на глибоких шахтах України.

RESOURCE-SAVING MINE WORKINGS SUPPORTS FOR DEVELOPMENT ON DEEP DEPTH

Current trends in support of mine workings with increasing depth, and geo-mechanical design requirements for strain-power characteristics support for hard geological conditions are considered. Priority parameters of availability support and determined the effective intervals required deformation-force characteristics to reduce steel intensity of mine workings is proved. The design features and the basic parameters of supports new technological level ovoid design are given. The results of industrial application ovoid roof supports for deep mines of Ukraine are presented.

Перспективи нарощування угледобуви об'єктивно пов'язані з збільшенням глибини розробки, середнє значення котрої досягло 720 м, а максимальне – 1600 м, де вельма інтенсивно проявляється горное

давленіє. С ростом глубины наблюдается увеличение площади сечения горных выработок, плотности установки и массы комплекта крепи, а, соответственно, и металлоемкости крепления горных вырабо-

ток. Возрастание площади сечения выработок с 11,2 м² до 13,8-17,7 м², а на глубоких шахтах – до 22-25 м² объективно связано, в первую очередь, с экономическими требованиями интенсификации угледобычи (нагрузки на очистной забой), а также с технологическими – для обеспечения вентиляционного, газового и температурного режимов эксплуатации. В совокупности, это отразилось на негативном увеличении (более чем в 2 раза) расхода металлопроката при креплении горных выработок [1].

Известно, что обеспечение эксплуатационной устойчивости горных выработок достигается обоснованным выбором типа, формы и конструкции крепи с параметрами соответствующей работоспособности, которые позволяют учитывать условия ее применения для конкретных горно-геологических условий [2].

Необходимость создания новых средств крепления горных выработок с существенным повышением их силовых и кинематических параметров определяется двумя основными моментами: непрерывное увеличение глубины разработки создает качественно новую геомеханическую ситуацию, предъявляющую повышенные требования к крепям в части их рабочих характеристик, а второе – все применяемые традиционные крепи (в основном арочные АП) уже не соответствуют усложнившимся горно-геологическим условиям и не обеспечивают решения своей основной задачи – обеспечения эксплуатационной устойчивости выработки на весь срок ее существования.

Так, по данным различных исследований [1,2] на шахтах Донбасса типовые рамные крепи АП деформированы и разрушены на протяжении от 30 до 50% обследованных выработок, при этом характерными видами деформации арочной крепи являются прогиб верхняка (чаще в центральной части), где возникают сосредоточенные нагрузки и изгибающий момент больше в 2-3 раза, а также – сведение боковых стоек внутрь выработки, вызывающее разрыв соединительных элементов и потерю общей устойчивости крепи.

Данные Минуглепрома Украины свидетельствуют [3], что ежегодно средняя протяженность ремонтируемых выработок достигает 43-57%, а полностью переукрепленных – 12-25% от объема поддерживаемых. Все это, помимо существенных материальных и трудовых затрат, в конечном итоге снижает эффективность подготовки и отработки запасов, а также безопасность труда и свидетельствует о масштабном несоответствии применяемых типовых крепей, особенно на больших глубинах разработки.

Резкий рост затрат на ремонт горных выработок обуславливается комплексом факторов, но основными можно считать следующие:

- неэффективность применяемых типовых конструкций крепей, пониженное качество изготовления и нарушение регламента применения;

- недостаточный учет особенностей поведения вмещающих пород при обосновании и выборе деформационно-силовых параметров крепи;

- отсутствие альтернативных решений по созданию новых типов и конструкций крепей для отечественной практики;

- отсутствие систематического технико-экономического анализа ресурсных затрат на крепление и ремонт горных выработок.

В связи с этим исследование и разработка управления устойчивости выработок с использованием высокоресурсных крепей повышенной несущей способностью является актуальной проблемой, имеющей крупное народно-хозяйственное значение.

ИСХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ

Исследования показывают, что геомеханика больших глубин – это физика больших давлений и сдвижений горных пород, а условия устойчивости выработки определяются необходимым отпором крепи с учетом деформационно-силового воздействия вмещающего массива пород за весь срок ее существования. Анализ аналитических решений [4, 5] показывает, что крепь,

представленная в форме уравновешивающей силы, является неотъемлемой составляющей системы «крепь-массив», а значения ее силовых и кинематических параметров определяют момент наступления устойчивости выработки, при этом степень влияния реально возможных значений отпора крепи (P) на величину конечных смещений контура выработки весьма существенна, что является принципиально важным для практики.

Нами установлена [6] следующая зависимость (рис. 1).

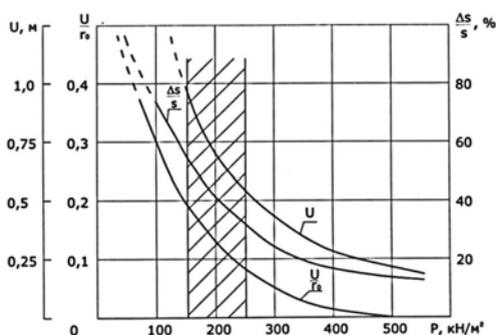


Рис. 1. Влияние отпора крепи P на смещение породного контура U , U/r_0 и относительное изменение сечения выработки $\Delta s/s$

Из этого следует весьма важное научно-практическое положение, что с увеличением отпора крепи смещения породного контура (U) и, соответственно, относительное изменение сечения выработки ($\Delta s/s$) уменьшаются по гиперболическому закону, что дает принципиальную возможность обеспечения устойчивости выработки при эффективном интервале сопротивления крепи (P_p) 150-250 кН/м², причем – на больших глубинах (более 1000м) P_p может возрастать до 350-400 кН/м², а более – является нецелесообразным.

Таким образом, для обозримых (в перспективе) глубин разработки мы можем апеллировать необходимым и задаваемым диапазоном отпора крепи и соответствующи-

ми ее деформационно-силовыми характеристиками.

Следует отметить, что в исследованиях [5, 7 и др.] эффективный интервал отпора крепи (P_p) считался 60-150 кН/м², что в целом соответствовало типичным горно-геологическим условиям и существующему к тому времени уровню развития средств крепления горных выработок.

Освоение больших глубин разработки (сложных горно-геологических условий с неустойчивыми породами) потребовало переоценки требований к роли характеристики крепи: от, преимущественно, «оградительно-отпорной» до «деформационно-силовой». По физической сути это сводится к приоритетности параметра работоспособности крепи (Q) и образующих его характеристик – рабочего сопротивления (P_p) и конструктивной податливости (Δ), как работы, обеспечивающей формирование совместной системы «крепь-массив»: $Q = P_p \cdot \Delta$.

Таким образом, задача ресурсо- (и металло) экономии крепления горных выработок на больших глубинах изначально сводится к повышению потенциала работоспособности самой конструкции крепи (Q), т.е. одновременного увеличения как рабочего сопротивления (P_p), так и податливости (Δ). Причем, известно, что с увеличением сечения рамы крепи (тенденция больших глубин разработки), при всех прочих условиях, прочность рамы крепи снижается (масштабный эффект профиля), а возможность конструктивной податливости – увеличивается. Разумеется, что вариация диапазона податливости крепи определяется конструктивными особенностями и, в первую очередь, формой сечения, а также – величиной нахлестки и сопряженностью элементов крепи. Но в любом случае следует использовать принцип максимально возможной потенциальной податливости создаваемой конструкции крепи в каждом ее типоразмере.

Требуемое для больших глубин повышение отпора крепи (до 150-250 кН/м²), что равнозначно рабочему сопротивлению (P_p), по сути сводится к увеличению: во-первых – предельной несущей способности конструкции рамы (P_{II}), во-вторых – величины и стабильности рабочей характеристики замковых соединений (узла податливости), а в-третьих – изменения типа прокатного профиля рам крепи. Следует отметить, что для решения общей научно-технической задачи повышения работоспособности крепи и, тем самым, ресурсосбережения крепления горных выработок, все перечисленные мероприятия необходимы и равнозначны, однако максимальная эффективность достигается при комплексном их решении. Для повышения несущей способности крепи (P_{II}) наиболее значимым и перспективным направлением является изменение формы поперечного сечения и типа рамной конструкции.

Выбор формы крепи нуждается в особом обосновании: из механики горных пород известно, что наиболее устойчивой формой поперечного сечения является эллипс (полуэллипс), большая ось которого ориентирована в направлении действия наибольшего главного напряжения; из строительной механики и статики сооружений известно, что схеме нагружения соответствует вполне определенный тип конструкции крепи, наиболее выгодный в использовании прочностных свойств материала [2]. Форма крепи в виде эллипса обеспечивает наибольшее соответствие распределению напряжений во вмещающих породах и при оптимальном развитии проявления горного давления.

Идея создания рамных крепей с геометрическими параметрами, соответствующими так называемому «эллипсу давления», ранее считалась неприемлемой по технико-технологическим причинам, поскольку для изготовления элементов крепи в основном использовался изгиб профиля прокаткой на роликовых и гибочных ста-

нах [8]. Это объясняется следующим: узкая номенклатура изготавливаемых типоразмеров крепи (в основном арочные); пониженные требования к классу точности геометрических размеров элементов крепи; простота технологии процесса проката.

Для изготовления крепей эллипсной конфигурации необходимы технология и соответствующее оборудование, позволяющие прокат элементов крепи с переменным радиусом кривизны.

На современном уровне развития техники таким является способ моноциклического инструментального прессования с использованием контурного пуансона [8], который позволяет осуществлять изгиб элементов крепи двух- и трехрадиусного исполнения для изготовления крепи овоидного типа – максимально (и технически осуществимо) приближенные к эллипсной конфигурации.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОВОИДНЫХ КРЕПЕЙ

Овоидные типы крепи – КМП-А3(А4)Р2 (двухрадиусного исполнения) и КМП-А3(А5)Р3 (трехрадиусного исполнения) разработаны и в промышленном масштабе изготавливаются на заводе ЗДНПЦ «Геомеханика». Типоразмеры крепей нового технического уровня (НТУ) охватывают максимально необходимые диапазоны сечений от 9,8 м² до 25,0 м² в свету; основные геометрические и деформационно-силовые характеристики приведены в табл. 1 и 2.

Анализ эффективности разработанных конструкций крепей произведен по следующим основным параметрам: изгибающим моментам в сечении под воздействием нагружающих усилий (M_i^{max}); коэффициенту конструктивного качества ($K = \int_{[\sigma]_i}^{\sigma_i} ds$); предельной несущей способности (P_{II}) и рабочему сопротивлению (P_p); конструктивной податливости (Δ); работоспособности ($Q = P_p \cdot \Delta Q$).

ПАРАМЕТРЫ КРЕПИ КМП-А3(А4)Р2

Таблица 1

Тип крепи	Сечение рамы в свету, м ²	H, мм	Ширина		Конструктивная податливость, мм	Рабочее сопротивление крепи, кН/раму	Предельная несущая способность, кН/раму	Тип СВП	Масса спец-профиля рамы, кг	
			B, мм	b, мм						
КМП-А3Р2	11,4	3474	4355	3382	500÷550	380	570	СВП-22	220	
		3470	4340	3360						
	12,4	3515	4540	3624	550÷600	347	520	СВП-22	230	
										520
	13,3	3666	4700	3806	600÷650	497	745	СВП-27	285	
										3656
	14,1	3793	4835	3969	650÷700	480	720	СВП-27	296	
										3788
	15,5	4007	5065	4242	650÷700	447	670	СВП-27	312	
										4002
		4095	5160	4353		420	630	СВП-27	312	
										4089
	18,0	4380	5470	4713		420	630	СВП-27	336	
										4366
КМП-А4Р2	15,9	4052	5130	4318		800÷900	457	640	СВП-27	322
	18,0	4364	5470	4713	450	630	СВП-27	352		
									4350	610

ПАРАМЕТРЫ КРЕПИ КМП-А3(А5)Р3

Таблица 2

Тип крепи	Сечение рамы в свету, м ²	H, мм	Ширина		Конструктивная податливость, мм	Рабочее сопротивление крепи, кН/раму	Предельная несущая способность, кН/раму	Тип СВП	Масса спец-профиля рамы, кг
			B, мм	b, мм					
КМП-А3Р3	9,8	2970	4200	3142	450÷500	265	790	СВП-22	199
	11,8	3372	4400	3644	600÷650				
				3637					
	12,3с	3566	4345	3730	450÷500	265	690	СВП-22	224
				3705					
	13,4	3618	4640	3978	700÷750	360	770	СВП-27	285
	14,4с	3966	4510	4056	500÷550				
	15,4	3815	5175	4442	700÷750	480	640	СВП-27	308
				4426					
	17,2	4135	5235	4668	800÷900	480	930	СВП-33	402
19,0	4400	5380	4904	850					
КМП-А5Р3	15,8	3970	5010	4470	800÷900	360	600	СВП-27	336
				4425					
	17,6	4425	5240	4695	900÷1000	790	СВП-33	435	
	19,0	4224	5520	4987	740	СВП-33	442		
	21,8	4672	5920	5364	670	СВП-33	482		
25,0	5115	6000	5547	≥ 1000	650	СВП-33	513		

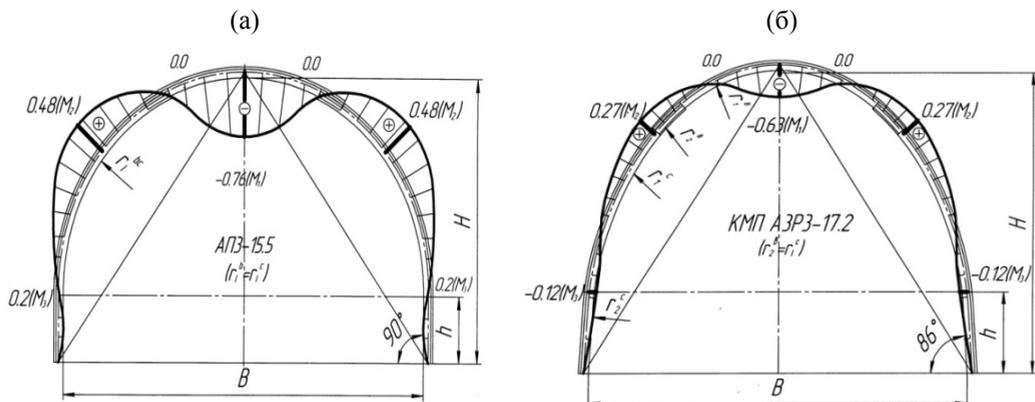


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов (M_i): крепь базисного уровня (а); крепь НТУ (б)

Результаты расчета показали, что крепи нового технического уровня имеют улучшенную и более равномерно распределенную по периметру рамы эпюру изгибающих моментов (рис. 2).

Установлено, что величины изгибающих моментов по сечению рамы в овоидных крепях снижаются в 1,8-2,5 раз. Это достигается за счет приближения геометрических параметров сечения к эллипсной конфигурации (отклонение 4-8%).

Формоизменение рамной конструкции позволяет (без увеличения массы) увеличить предельную несущую способность (P_{II}) в 1,8-2 раза, а учет неравнопрочности элементов при всестороннем нагружении

обеспечивается посредством изменения их кривизны и сопряженности.

Исходя из вышерассмотренных требований и приемов их достижения, общая сравнительная характеристика эффективности разработанных крепей дана в табл. 3.

Крепи НТУ характеризуются следующими преимуществами: без существенного увеличения веса комплекта достигнуто увеличение несущей способности (в 2,0-2,8 раза), что позволяет увеличить (без уменьшения запаса прочности) рабочее сопротивление рамы (в 1,8-2,5 раза) и уменьшить плотность (т.е. металлоемкость) крепления выработок.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРЕПЕЙ

Таблица 3

Типы крепей Параметры	Типовые арочные крепей	Крепи нового технического уровня НТУ
Коэффициент конструктивного качества	0,31-0,37	0,57-0,70
Предельная несущая способность	условно «0»	+ 70-85%
Рабочее сопротивление	условно «0»	+ 70-120%
Податливость, мм	300	500-1000 и более
Работоспособность	условно «1»	в 4-5 раз

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ КРЕПЕЙ НТУ

Промышленное применение крепей НТУ с повышенными в два и более раза силовыми и кинематическими параметрами положено с началом внедрения овоидных крепей КМП-А3(А4)Р2. Так, начиная с 2002 г. и по настоящее время объем применения этих крепей составил более 35 тыс. комплектов (табл. 4).

При внедрении овоидных крепей на шахтах со сложными горно-геологическим условиями ставилась задача: исключить необходимость перекрепления и минимизировать эксплуатационные затраты на поддержание подготовительных выработок, начиная с момента проведения и вплоть до погашения после прохода лавы, а также возможность снижения затрат на концевых операциях в очистном забое, непосредственно зависящих от состояния штрека на уровне «окна» лавы.

ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА И ПРИМЕНЕНИЯ КРЕПИ КМП-А3(А4)Р2

Таблица 4

Наименование предприятия	Типоразмер крепи	Период	Количество комплектов
ш. им. А.Г. Стаханова	КМП-А3Р2-12,4; 14,1; 16,1; 18,0	2002-2008.	24738
ш. «Ясиновская-Глубокая»	КМП-А3Р2-14,1	2002	1200
ш. им. В.М. Бажанова	КМП-А3Р2-14,1	2004	820
ш. им. А.А. Скочинского	КМП-А3Р2-14,1	2006	1210
ш. им. А.Ф. Засядько	КМП-А4Р2-22,0	2006-2007	2168
ш. «Красноармейская-Западная № 1»	КМП-А4Р2-22,0	2008-2010	2500
ш. им. А.Г.Абакумова, ГП ДУЭК	КМП-А3Р2-14,1; КМП-А4Р2-15,9	2009-2011	1819
ГП «Свердловантрацит» ш. «Должанская-Капитальная» ш. им. Свердлова	КМП-А3Р2-11,4; КМП-А3Р2-12,4; КМП-А3Р2-14,1	2009-2013	1211
ш. «Комсомолец Донбасса»	КМП-А3Р2-16,1	2013	751

Крепь типа КМП-А3Р2 сечениями 14,1; 16,1 и 18,0 м² в свету впервые была применена на шахтах им. А.Г. Стаханова и «Ясиновская-Глубокая». На шахте им. А.Г.Стаханова для крепления штреков использована трехзвенная крепь сечением 16,1 м² в свету (участковые штреки пл. κ_5^B) и 18,0 м² в свету (магистральный штрек гор. 986 м), принятая в качестве альтернативы обычной крепи АП-3 сечениями 15,5 и 18,3 м², участки с которыми использованы впоследствии как контрольные для сравнения.

Результаты применения новых крепей были в целом идентичны: участки с обычной крепью требовали перекрепления че-

рез 80-100 суток при продолжающихся смещениях пород с интенсивностью 1,0-2,0 мм в сутки, при этом практически вся крепь выходила в нештатный режим работы с типичными деформациями. На участках с новой крепью уже на 50-60-е сутки интенсивность смещений была на уровне 0,2-0,5 мм в сутки, что свидетельствует о практической их стабилизации, а реализованная податливость в узлах составила 250-380 мм и не превышала величины конструктивной податливости (850 мм). Полученные результаты позволили принять решение об уменьшении плотности установки с 1,5 до 1,25 рамы/пог. м и, одновременно, переходе на спецпрофиль СВП-27 вместо СВП-33 для сечения 16,1 м² в свету,

что в дальнейшем полностью себя оправдало. Практическим результатом применения новых крепей на шахте им. А.Г. Стаханова явилось не только исключение необходимости перекрепления выработок, но и существенное снижение первичных прямых затрат.

Применение крепи КМП-А3Р2 сечением $14,1 \text{ м}^2$ в свету на шахте «Ясиновская-Глубокая» (1200 комплектов) может считаться показательным в свете главной практической задачи – снижения металлоемкости, т.к. в этом случае оказалось возможным уменьшить плотность установки на 20% (до 1 рамы/п.м.), т.е. непосредственно уменьшить прямые затраты. Кроме того, в процессе эксплуатации проявилась повышенная устойчивость крепи при динамических нагрузках: в момент известного, имевшего место 18.02.2003 г. внезапного выброса угля и газа, несмотря на значительный объем угля (около 1500 т), новая крепь после вскрытия «запечатанного» участка выработки оказалась неповрежденной.

На шахтах им. А.Г. Абакумова (ГП «ДУЭК»), «Красный партизан» и «Должанская-Капитальная» (ГП «Свердловантрацит») для крепления конвейерных штреков применялась овоидная крепь КМП-А3Р2 сечением $14,1 \text{ м}^2$ в свету вместо типовой АП-3 сечением $13,8$. Вначале шаг установки новой крепи был такой же – $0,5 \text{ м}$ и, вследствие существенного улучшения состояния штреков, было принято решение снизить плотность крепления с 2 рам/п.м. до $1,5$ рам/п.м., что полностью было оправдано. При этом был достигнут главный результат: участки штреков, где была установлена крепь КМП-А3Р2-14,1 отвечали паспортному состоянию, что позволило обеспечить безремонтное их поддержание вплоть до «окна» второй (спаренной) лавы с последующим погашением. Разумеется, местами производилась подрывка почвы, однако ее объемы снизились на 30-40%.

На шахтах с весьма сложными геомеханическими условиями (им. А.Ф. Засядько, «Красноармейская-Западная № 1», им.

А.Г. Абакумова), где большие сечения выемочных штреков требовались по фактору обеспечения проветривания и транспорта, были проведены промышленные испытания 4-х звенной овоидной крепи КМП-А4Р2-15,9; 18,0 и $22,0 \text{ м}^2$.

Рабочее сопротивление этих крепей, составляющее 570-610 кН/раму, с конструктивной податливостью до 1000-1200 мм, позволило повысить эксплуатационную устойчивость выемочных штреков как в проходке, так и в зоне влияния очистных работ. При этом, что представляется весьма важным, сечение КМП-А4Р2-22,0 м^2 позволило обеспечить в условиях шахт им. А.Ф.Засядько (на пласте m_3) и «Красноармейская-Западная» (пл. d_4^B) отработку лав с суточной нагрузкой 3,2-4,5 тыс. тонн.

В целом, как показал опыт эксплуатации, овоидная крепь КМП-А3(А4)Р2 является наиболее удачной по конструктивному исполнению и эффективной по технико-экономическому применению.

В развитии семейства овоидных крепей, помимо созданной двухрадиусной КМП-А3(А4)Р2 трех- и четырехзвенных, была разработана трехрадиусная – КМП-А3(А5)Р3 в трех- и пятизвенных исполнениях. Целесообразность трехрадиусного исполнения овоидной крепи была обусловлена необходимостью учета диапазона варьирования схем нагружения крепи для сложных условий эксплуатации, а именно: от преобладающей вертикальной – для двухрадиусной КМП-А3(А4)Р2 – к всесторонней и косонаправленной – для трехрадиусной КМП-А3(А5)Р3.

Конструкция крепи КМП-А3(А5)Р3 по форме ее исполнения более близка к эллипсу и, соответственно, лучше воспринимает боковые нагрузки, особенно свойственные зонам геологических нарушений и при поддержании штреков вприсечку к выработанному пространству.

Промышленные испытания крепи КМП-А3(А5)Р3 проведенные в условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1», показали ее высокую технико-экономическую эф-

фективность. Следует отметить, что крепь КМП-А5Р3 сечением 25,0 м², созданная под конкретные условия проходческого комплекса MR-620 (Великобритания), является наибольшим в отечественной практике эксплуатации.

Применение овоидной крепи КМП-А3Р2-16,1 показало кардинальное повышение устойчивости конвейерного уклона пл. I₆ блока № 5 гор. 810 м ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса». Результаты внедрения овоидной крепи обеспечило снижение металлоемкости крепления на 310,4 кг на погонный метр выработки, эко-

номия металла на крепление выработки составила 63,935 тонн (на протяженности 206 м).

Результаты промышленного испытания свидетельствуют, что применение овоидных крепей обеспечивает повышенную устойчивость выработок и снижение металлоемкости их крепления.

Опыт широкомасштабного применения крепей нового технического уровня показывает, что технико-экономическая эффективность их применения возрастает с ростом глубины и усложнением горно-геологических условий эксплуатации.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириченко, В.Я. Тенденции развития средств крепления подготовительных выработок на угольных шахтах Украины [Текст]: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки», Ялта / В.Я. Кириченко, В.И. Бондаренко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – С. 75-80.

2. Литвинский, Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. – К.: Техніка, 1999. – 216 с.

3. Вивчаренко, А.В. Стратегия развития угольной отрасли Украины [Текст]: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки», Ялта / А.В. Вивчаренко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – С. 3-9.

4. Либерман, Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок [Текст] / Ю.М. Либерман. – М.: Наука, 1969. – 248 с.

5. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок [Текст] / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.

6. Кириченко, В.Я. Механико-математическое моделирование расчетной схемы смещения породного контура и определение давления на крепь горной выработки [Текст] / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2011. – № 93. – С. 45-55.

7. Руппенейт, К.В. Некоторые вопросы механики горных пород [Текст] / К.В. Руппенейт. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.

8. Маркович, Б.А. Шахтная металлическая крепь и способы ее массового производства [Текст] / Б.А. Маркович. – М: Недра, – 1974. – 120 с.

ОБ АВТОРАХ

Кириченко Владимир Яковлевич – д.т.н., директор ООО «Западно-Донбасский научно-производственный центр «Геомеханика».

