

ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ВЫСОКОРЕСУРСНЫМИ КРЕПЯМИ В УСЛОВИЯХ ОП «ШАХТА ИМ. Д.Ф. МЕЛЬНИКОВА» ПАО «ЛИСИЧАНСКУГОЛЬ»

*В.Я. Кириченко, О.С. Золотко, ЗДНПЦ «Геомеханика», Украина
В.В. Ковшарь, ПАО «Лисичанскуголь», Украина*

По результатам исследования закономерностей проявления горного давления выявлен механизм деформирования вмещающих пород и разработаны рекомендации по эффективному поддержанию подготовительных выработок крепями нового технического уровня.

В настоящее время одной из главных задач совершенствования подземной угледобычи является создание эффективных средств и способов обеспечения устойчивости горных выработок, а также снижение затрат на их поддержание.

Инвестиционным проектом программы производственно-хозяйственной деятельности на шахте им. «Д.Ф.Мельникова» в 2012-2016 годах намечено увеличить добычу угля до 1300 тыс.тонн в год. Для этого планируется увеличить объем проведения вскрывающих и подготавливающих выработок: с 2,8 км/год в 2011г. и 4,4км/год в 2012г. до 10,6-11,0 км/год с 2013 года., т.е. в 2,5-3 раза. При этом пропорционально возрастет и протяженность поддерживаемых выработок.

С учетом фактически сложившегося состояния на шахте из общей протяженности действующих горных выработок (26121м) в неудовлетворительном состоянии находится 4 903м, т.е. 19 % от объема поддерживаемых. Значительная протяженность подготовительных выработок в аварийном состоянии и объем ремонтных работ свидетельствует о несоответствии применяемых типов крепи усложнившимся горно-геологическим условиям эксплуатации, характеру и интенсивности проявления горного давления.

В результате анализа установлено, что без совершенствования сети горных выработок невозможно эффективно и безопасно отработать уклонную часть шахтного поля. Неудовлетворительное состояние горных выработок затрудняет работу шахтного транспорта, проветривание очистных и подготовительных забоев, ведет к увеличению численности рабочих, занятых на работах по поддержанию выработок, что в конечном итоге снижает технико-экономические показатели работы шахты. Остро стоит вопрос повышения устойчивости пластовых выемочных выработок, поддерживаемых в условиях слабых вмещающих пород в зоне интенсивного влияния очистных работ.

В основном, шахтное поле характеризуется выдержанным залеганием пластов с преобладающими углами падения 17-22°. Сравнительно простая складчатая структура участка осложняется продольным взбросом значительной амплитудой (порядка 10-135м), и сопровождается мелкими нарушениями сбросового характера, затрудняющими ведение горных работ.

Согласно утвержденного Министерством угольной промышленности Украины задания на корректировку проекта «Вскрытие и подготовка гор. 820 м», скорректированным проектом мощность шахты принята в объеме 900 тыс. т угля в год. Освоение намеченной мощности будет обеспечиваться работой трех очистных забоев с нагрузкой 1000 - 1600т/сут на пластах l_6, l_5, l_4, k_8 ($m=0,83-1,38$ м).

Пласт l_6 - Для пласта характерна довольно высокая выдержанная мощность в пределах 0,63 - 1,08м, при преобладающем значении 0,8 - 0,9м и простом строении. Непосредственная почва пласта - сланцы глинистые $m = 1,5$ м, $B_{сж.} = 320$ кг/см², сланцы песчаные $m = 1,0-10,0$ м, $B_{сж.} = 370$ кг/см², песчаники $m = 8-20$ м, $B_{сж.} = 470$ кг/см². Основная кровля - сланцы песчаные $B_{сж.} = 370$ кг/см², песчаники $B_{сж.} = 470$ кг/см², сланцы глинистые $B_{сж.} = 320$ кг/см². Почва пласта - сланцы песчаные $B_{сж.} = 370$ кг/см², песчаники $B_{сж.} = 470$ кг/см², сланцы глинистые $B_{сж.} = 320$ кг/см² склонные к пучению.

Пласт l_5 - залегает в 30м ниже пласта l_6 . По горным работам и разведочным скважинам

пласт имеет выдержанную рабочую мощность, колеблющуюся от 0,64 до 0,97 м и простое строение. Непосредственная почва пласта - сланцы глинистые $m = 0,4-8,0$ м., $\sigma_{сж} = 300$ кг/см² или сланцы песчаные $m = 0,4 - 0,8$ м., $\sigma_{сж} = 380$ кг/см². Основная кровля - известняк $m = 2,0-3,0$ м., $\sigma_{сж} = 560$ кг/см², песчаники $m = 21-23$ м., $\sigma_{сж} = 460$ кг/см², сланцы песчаные и глинистые $\sigma_{сж} = 300-380$ кг/см². Почва пласта - сланцы глинистые и песчаные, склонны к пучению $\sigma_{сж} = 300$ кг/см².

Пласт l_4 - залегает в 16 м ниже пласта l_5 , имеет 2-3-х пачечное строение. Породный прослой приурочен к верхней части пласта и представлен глинистым, реже углистым сланцем. Мощность породного прослоя колеблется от 0,05 до 0,25 м. При сложном строении суммарная мощность пласта 1,3 - 1,8 м. Непосредственная почва пласта - сланцы глинистые $m = 3,0-5,0$ м., $\sigma_{сж} = 220$ кг/см², сланец песчаный $m = 2,0 - 10,0$ м., $\sigma_{сж} = 340$ кг/см². Основная кровля - сланец глинистый $\sigma_{сж} = 220$ кг/см², сланец песчаный $\sigma_{сж} = 340$ кг/см², известняк $\sigma_{сж} = 760$ кг/см². Почва пласта - сланцы глинистые $\sigma_{сж} = 220$ кг/см², сланцы песчаные, $\sigma_{сж} = 340$ кг/см². Сланцы при увлажнении склонны к пучению.

Пласт k_8 - характеризуется высокой мощностью (до 2,3 м) на оцениваемом участке распространен на ограниченных площадях. Непосредственная кровля пласта - сланцы песчаные $\sigma_{сж} = 310$ кг/см², сланцы глинистые $\sigma_{сж} = 150$ кг/см², $m =$ от 1,0-2,0 м до 16,0-18,0 м. Почва пласта - песчаник $m = 1,0-17,0$ м $\sigma_{сж} = 430$ кг/см². При увлажнении породы склонны к пучению.

При отработке балансовых запасов в технических границах шахты средняя величина водопритока в шахту ожидается в количестве 190 м³/час. Природная газоносность угольных пластов на отметке минус 960 м составит по пластам l_6, l_5, l_4, l_2 — 7,2-10,0 м /т.с.г.м., k_8^H , 5,3 - 9,9 м /т.с.г.м. Дополнительными источниками газовыделения будут песчаники, газоносность которых достигает 0,25 м³/т. По газовому режиму шахта им. Д.Ф.Мельникова относится к сверхкатегорной. Выработки, проходимые в этих породах, являются силикозоопасными. По данным МакНИИ угольная пыль пластов является взрывоопасной. На оцениваемой площади склонными к самовозгоранию являются угли пластов l_4, l_2^I, k_8, k_8^H .

Таким образом, в связи с большой глубиной разработки (550-885 м.) и неустойчивыми вмещающими породами, горно-геологические условия шахты характеризуются как весьма сложные по фактору проявления горного давления при ведении горно-проходческих работ и поддержании подготовительных выработок в процессе подготовки и отработки угольных пластов.

Способ подготовки и порядок отработки уклонного поля гор. 820 м произведен с учетом горно-геологических условий и принятых решений по вскрытию и опыту шахты по отработке запасов в бремсберговой части поля.

Уклонное поле по падению разбивается на 5 ярусов (этажей), что обеспечивает оптимальные длины лав (примерно 200 м) по всем пластам. На каждом ярусе оборудуются приемные площадки. Заложение групповых полевого и откаточного штреков принято исходя из опыта работы шахты на вышележащих этажах. Все подготовительные выработки проходят узким ходом. Для выполнения разработанных мероприятий ПАО «Лисичанкуголь» предусматривается приобретение 5 проходческих комбайнов типа EBZ 160 (производство Китай).

Программой развития горных работ на 2012-2013 гг. предусмотрено проведение 11660 м вскрывающих и подготавливающих выработок, что позволит ввести в эксплуатацию 1 южную лаву пл. k_8 , 1 южную «бис» лаву пл. l_2^I , 1 северную лаву пл. l_6 , и 1 южную лаву пл. k_8 гор. 885 м., оборудованных современными отечественными механизированными комплексами ЗКД-90Т и механизированными комплексами ZY4000/08/15 производства Китай, что обеспечит добычу по шахте им. Д.Ф. «Мельникова» в объеме 1,0 млн. т. угля в год.

Для крепления подготовительных выработок на шахте, (как и на большинстве шахт Украины) используются арочная крепь КМП-А3 сечением в свету 11,2 м², 13,8 м², 15,5 м² с шагом установки 0,5-0,8 м. Однако, арочная трехзвенная крепь КМП-А3 может быть применена в выработках смещение кровли в которых не превышает 300 мм.

В результате обследования подготовительных выработок гор. 885 м. установлены следующие основные деформационные особенности поведения вмещающего массива и крепи вы-

ражающиеся:

- в интенсивном пучении почвы (до 1 м и более) и значительном внедрении (до 300мм) стойки крепи в почву, деформации и смещении стоек внутрь выработки,

- в разрыв профиля на стойке, как следствие разрыв скобы замка, прогиб верхняка крепи во внутрь выработки;

- в местах, где рамы крепи не сработали в податливом режиме произошла деформация (выполаживание) верхняков крепи, имеющая наклонный характер, что свидетельствует о асимметричной нагрузке на крепь, проявляющейся в наклоне и деформации верхней части стоек и смещении нижней прямолинейной части стоек внутрь выработки ;

- в местах где рама крепи подалась в замках и нахлестка верхняка со стойкой увеличилась до 600 мм, деформация верхняка крепи оказалась не столь существенной, но вследствие пучения почвы выработка не имеет технологических зазоров согласно ПБ.

В качестве основных причин неудовлетворительного состояния горных выработок следует отметить следующее: значительная глубина ведения горных работ; слабые трещиноватые и неустойчивые вмещающие породы; низкое качество крепления при возведении; использование типовых арочных крепей с низкими силовыми и кинематическими характеристиками.

В общем виде механизм деформирования вмещающих пород и крепи выработок по данным инструментального обследования схематично представлен на рис. 1.

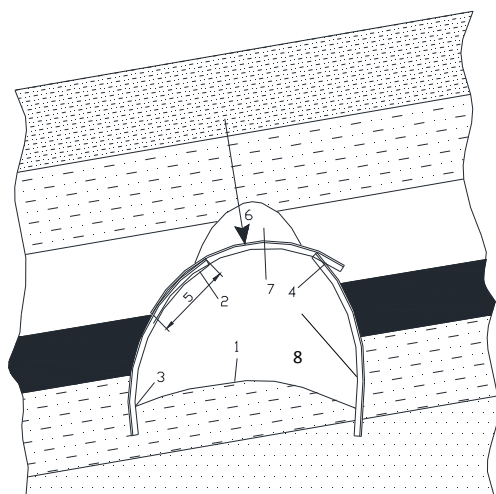


Рис. 1 Механизм деформирования пород и разрушения крепи

1.- пучение почвы; 2.- наклон стойки внутрь выработки; 3. - деформация прямолинейной части стойки; 4.- «Зев» между верхняком и стойкой; 5.- увеличенная нахлестка; 6.- вектор нагрузки; 7.- обрушение пород кровли и образование свода естественного равновесия; 8.- внедрение стоек в почву выработки.

Следует отметить, что наличие в почве угольного пласта слабых пород является по своей природе крайне неблагоприятным фактором приводящим к интенсификации процесса пучения пород и внедрения стоек крепи в почву. При наличии в кровли крепких пород (песчаники, известняки) происходит формирование плоской кровли «защемленной

жесткой балки» приводящей к повышенной асимметричной нагрузке на крепь выработки.

Применяемая в таких условиях типовая арочная крепь обладает следующим рядом недостатков: низким рабочим сопротивлением, низкой конструктивной податливостью, несоответствием формы крепи контуру разрушения пород, что приводит к деформированию рам, разрывам замковых соединений и разрушению спецпрофиля.

На основании исследования геомеханики взаимодействия системы «крепь - породный массив» сформулирована концепция применения геоэффективных крепей, суть которой сводится к следующему:

- нарастание значимости и необходимость учета геомеханических процессов самоорганизации породного массива вокруг выработок для обоснования геометрических параметров и деформационно-силовых характеристик конструкций крепей;

- управление горным давлением крепями должно достигаться за счет повышения эффекта сводчатости над выработкой, повышения параметров рабочего режима крепей посредством сопряженности за счет рационального соотношения геометрических параметров элементов, формирования совместной породно-металлической консолидированной охранной конструкции выработки;

- повышение технико-экономического уровня крепления и поддержания горных выработок должно быть достигнуто за счет качества изготовления, крепления и эксплуатации кре-

пей при организации системного их мониторинга.

Исходя из этих предпосылок обоснованы необходимые геометрические и деформационно-силовые параметры крепей повышающие уровень совместной работы с породным массивом, вовлекаемым в охранную конструкцию и устойчивость к асимметричным нагрузкам сохраняют до 60% поперечного сечения выемочного штрека для повторного использования, а также возможность использования крепи для создания комбинированных охранных систем выработок совместно с анкерной крепью и литыми охранными полосами.

При использовании типовых арочных крепей отмеченные выше мероприятия практически не могут быть реализованы. Согласно данным ДонУГИ [1] двойное увеличение плотности установки обычной арочной крепи дает уменьшение смещений контура не более 16-17%. Кроме того, арочные крепи КМП-А3 не предполагают их использования при наличии асимметричных нагрузок, поскольку силовые параметры и, соответственно, эффективность применения снижаются в 3-4 раза.

В соответствии с выполненными расчетами по методике [2] смещение пород кровли в процессе эксплуатации выработок может достигать 750 мм, а расчетное сопротивление - 400 кН/м, что подтверждает неэффективность использования арочной крепи КМП-А3 для отработки уклонного поля шахты.

Западно-Донбасским НПЦ «Геомеханика» на базе аналитико-экспериментальных исследований и выявленных особенностей деформирования вмещающего массива на различных этапах эксплуатации подготовительной выработки с учётом литолого-структурного строения массива, характера проявления горного давления, режима и схемы нагрузки обоснованы и разработаны новые конструкции рамных податливых крепей [3]: 1-го технического уровня (КШПУ-М, КЦЛ, КПП) и 2-го технического уровня (КМП-А3(А4)Р2, КМП-А3(А5)Р3, КЦЛО).

Анализ эффективности указанных конструкций крепей произведен по следующим основным параметрам: изгибающим моментам в сечении под воздействием нагружающих усилий ($M_{i_{max}}$); коэффициенту конструктивного качества ($K = \int \frac{M}{[M]} ds$); предельной несущей способности (P_n) и рабочему сопротивлению (P_p); конструктивной податливости (Δ); работоспособности ($Q = P_p \times \Delta$).

Исходя из вышерассмотренных требований и приёмов их достижения, общая сравнительная характеристика эффективности разработанных крепей дана в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная эффективность крепей

Типы крепей Параметры	Типовые арочные крепи	Крепи нового технического уровня	
		НТУ-1	НТУ-2
Коэффициент кон- структивного качества	0,31-0,37	0,42-0,55	0,57-0,70
Предельная несущая способность	условно «0»	+ 20-60 %	+ 70-85 %
Рабочее сопротивление	условно «0»	+ 20-50 %	+ 70-120 %
Податливость, мм	300	300-700	500-1000 и более
Работоспособность	условно «1»	↑ в 2,5-3 раза	↑ в 4-5 раз

Исходя из анализа горно-геологических условий, характера проявления горного давления и механизма деформирования системы «крепь-массив» в условиях шахты им. «Д.Ф. Мельникова» целесообразно применение крепей типа КШПУ-М, КМП-А3Р3, КЦЛО, краткая характеристика которых представлена ниже.

Крепь КШПУ-М (крепь шатровая, податливая, удлиненная – модернизированная) от известных арочных крепей (типа АП-3 и др.) отличается увеличением высоты за счёт удлине-

ния прямолинейной части стоек, что предполагает частичную компенсацию пучения пород; наклоном стоек крепи под некоторым углом к плоскости почвы выработки, что повышает её отпор боковому давлению пород; уменьшением длины и радиуса верхняка с целью уменьшения верхнего пролёта и повышения отпора давлению пород кровли; рациональным соотношением стойки и верхняка для обеспечения самозапираания крепи.

Крепь КМП-А3(А5)Р3 (крепь металлическая податливая, трёх- или пяти, трёхрадиусная), имеет форму овоида, максимально приближённому к эллипсу, т.е. эпюре горного давления. данной конструкции крепи обеспечивается наиболее оптимальное и сбалансированное соотношение её основных характеристик: предельной несущей способности, рабочем сопротивлении и его стабильности во всём интервале конструктивной податливости, достаточном поперечном сечении при обеспечении минимальной металлоёмкости. Кроме того за счёт оптимизации геометрических параметров крепи, в том числе радиусов концевых участков сопрягаемых сегментов, дополнительно увеличивается податливость крепи (+150÷200 мм), а также повышается её устойчивость по отношению как к вертикальным, так и к боковым и косонаправленным нагрузкам.

Крепь КЦЛО (крепь циркульно-линейная, овоидная) представляет собой раму с плоскоизогнутым верхняком и наклонно-овоидными стойками и может выполнять функцию, как самостоятельной несущей конструкции, так и оградительно-поддерживающей в комбинации с анкерной крепью. Формируемый при такой конструкции крепи контур выработки - плоская кровля с наклонно-овоидными боками, позволяет более рационально и эффективно возводить анкерные системы в кровле, а именно – перпендикулярно напластованию пород с возможностью варьирования угла анкерования вдоль оси выработки; при этом радиально-изогнутые стойки крепи создают отпор смещению боковых пород в выработку.

Исходя из конкретных горно-геологических условий шахты им. «Д.Ф. Мельникова», характера деформирования пород и проявления горного давления предлагается следующая схема вариантов выбора и применения крепей нового технического уровня (табл. 2).

Таблица 2

Матрица выбора типа крепления горных выработок.

Тип условий	Структурно-прочностная характеристика вмещающего массива	Преобладающий тип деформирования и нагрузки пород	Рекомендуемый тип крепи
I	среднепрочные породы кровли ($R_c=25-35$ Мпа); низкопрочные породы почвы ($R_c \leq 25$ Мпа)	расслоение пород по контактам слоев со всесторонним обжатием крепи, значительная боковая нагрузка и преобладающее развитие пучения почвы	КШПУ-М (шатровая)
II	низкопрочные породы кровли ($R_c=5-25$ Мпа); среднепрочные породы почвы ($R_c \leq 25-35$ Мпа)	расслоение и руинное разрушение пород по всему контуру крепи, повышенная нагрузка в кровле выработки	КМП-А3(А5)Р3 (овоидная)
III	крепкие породы кровли ($R_c > 40$ Мпа); низко- и среднепрочные породы почвы ($R_c < 35$ Мпа)	прогиб и расслоение «жесткой» балки с формированием породных слоев плоской кровли, выдавливающие породы почвы	КЦЛО (линейно - овоидная)

С учетом применяемой на шахте технологии проведения вскрывающих и подготавливающих выработок, схем отработки пластов, транспорта и вентиляции, наиболее используемыми являются следующие сечения горных выработок (в свету до осадки) – 11,2 м²; 13,8 м²; 15,5 м².

Исходя из требуемых параметров площади сечения горных выработок предлагаются следующие типоразмеры крепей нового технического уровня (табл. 3):

Таблица 3

Базовый типоразмер	Предлагаемый типоразмер		
	КШПУ-М	КМП-А3(А5)Р3	КЦЛО
КМП-А3–11,2 (СВП-22)	КШПУ-М- 11,7 (СВП-22)	КМП-А3Р3-11,8 (СВП-22)	КЦЛО- 11,2 (СВП-22)
АП-3–13,8 (СВП-27)	КШПУ-М- 14,4 (СВП-27)	КМП-А3Р3-13,4 (СВП-27)	КЦЛО- 13,1 (СВП-27)
АП-3–15,5 (СВП-33)	КШПУ-М- 15,1 (СВП-33)	КМП-А3Р3-15,4 (СВП-33)	КЦЛО- 15,6 (СВП-33)

Согласно проведенным ориентировочным расчетам плотность крепления выработок для пл. I₆, I₅, I₄, k₈, при принятых горно-геологических условиях составит:

- для крепи типа КМП-А3-13,8 из СВП-27 - 1,67 рам/п.м.;
- для крепи типа КШПУ-М-13,7 из СВП-27 - 1,2 рам/п.м.;
- для крепи типа КМП-А3Р3-13,4 из СВП-27 - 1,0 рам/п.м.;
- для крепи типа КЦЛО-13,1 из СВП-27 - 1,2 рам/п.м.

Применение арочной крепи типа КМП-А3-13,8 из СВП-27 с плотностью 1,67 рам/п.м. (с шагом 0,5м) допускается по значениям расчетной нагрузки на крепь, но не приемлемо по расчетному смещению пород на контуре выработки, которое в процессе эксплуатации может достигать 700-800 мм.

Опыт промышленного применения крепей нового технического уровня на шахтах со сложными горно-геологическими условиями показал возможность достижения устойчивого состояния подготовительных выработок, что существенно снижает затраты (на 30-70%) по статье «проведение, ремонт, поддержание» и обеспечивает их ресурсосбережение на всех этапах эксплуатации.

Разработанные рекомендации по повышению устойчивости подготовительных выработок в условиях шахты им. «Д.Ф. Мельникова» включены в корректировку проекта по вскрытию, подготовке и отработке уклонного поля гор. 820 м.

Список литературы

1. Селезень А.Л. Исследование влияния плотности крепления на смещение пород в подготовительных выработках / А.Л. Селезень, Б.Т. Тупиков, В.В. Шевченко. – Уголь України, № 11, 1988. – С. 11–14.
2. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок / ВНИМИ. – СПб., 1991. – 125 с.
3. Кириченко В.Я. Металлорамные штрековые крепи нового технического уровня / В.Я. Кириченко // Школа подземной разработки: Материалы международной научно-практической конференции. – Днепропетровск – Ялта : Дніпропетровський національний гірничий університет. – 2010. – С. 241–266.