

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТИПОВ РАМНЫХ КРЕПЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

к.т.н. Сугаренко Г.Г. (ИФГП НАН Украины), к.т.н. Алиев Н.А. (НИИГМ имени М. М. Федорова), к.т.н. Кириченко В.Я. (ЗДНПЦ «Геомеханики» г. Павлоград)

Приведено аналіз відомих і нових технічних рішень, використаних при створенні і застосуванні рамних податливих кріплень гірських виробок з погляду ресурсозбереження.

Визначено основні конструктивні рішення, що визначають підвищення силових і кінематичних характеристик запропонованих і введених на ряді шахт Донецького вугільного басейну. Приводяться оригінальні технічні рішення силових замків вузлів піддатливості кріплень.

ENGINEERING SOLUTIONS IN THE DEVELOPMENT OF NEW FRAME SUPPORTS FOR UNDERGROUND WORKING

Sugarenko G.G., Aliyev N.A., and Kirichenko V.Ya.

Technical decisions on development and field tests of new types braced pliable lining mountain manufactures are considered.

The basic constructive decisions determining increase of power and kinematic characteristics of mines offered and introduced on a line of Donetsk coal basin are determined. Original technical decisions of power locks of units of a pliability are resulted.

Качественные изменения условий эксплуатации рамных крепей обусловлены рядом объективных обстоятельств: увеличением глубины разработки, использованием новых видов очистной, проходческой и транспортной техники, повышенным газовыделением и др. Сохраняется устойчивая тенденция перехода к большим сечениям горных выработок. Поэтому к податливым крепям предъявляются повышенные требования, прежде всего к параметрам рабочей характеристики.

Объективно постояннодействующими требованиями остаются снижение затрат как собственно на крепь, так и на сопряженных процессах, а также соответствие задачам реализации безнишевой выемки и увеличения темпов проходки, что определяет в конечном счете общую эффективность подготовки и отработки запасов. В то же время, широко применяемые в отечественной практике типы рамных крепей не претерпели за последние 50 лет сколько-нибудь заметных изменений ни в части номенклатуры конструкций, ни в части параметров рабочих характеристик. По этой причине широко приме-

няемые крепи традиционных типов в большинстве случаев не соответствуют новым условиям применения, а экономические потери настолько велики, что не поддаются точному определению. Укрупненным расчетом установлено, что объем таких потерь в масштабах отрасли составляет не менее 180 млн. грн ежегодно. Поэтому переход на использование новых типов крепей является на сегодняшний день весьма актуальной и экономически перспективной задачей.

В свою очередь такой переход с абсолютной неизбежностью предполагает использование новых технических решений, обеспечивающих необходимые силовые, кинематические и эксплуатационные характеристики создаваемых конструкций. Выбор соответствующих решений ограничивается прежде всего показателем суммарных затрат на их реализацию, как по объектам применения, так и при производстве крепей предприятиями-изготовителями. Так, например, существующий уровень технической оснащенности основных отечественных предприятий сразу исключает использование таких технических решений, как применение образующих сегментов, изогнутых по кривым коническим сечений (эллипс, гипербола и парабола), их изгиб в горячем состоянии, изготовление отдельных элементов крепи методом точного литья,ковки и горячей штамповки (замковые соединения и шарниры) и т.п.

С точки зрения производителей, нежелательным является также и использование электросварки даже в минимально необходимых объемах. Снятие указанных ограничений возможно только на основе полного переоснащения технической базы производителей крепи, требует значительных объемов инвестиций и времени, что является, по крайней мере на ближайшие годы, весьма проблематичным. Именно по этим причинам в отечественной практике не могут быть использованы путем прямого заимствования технические решения широко реализованные с большим технико-экономическим эффектом в зарубежной практике (Германия). Тем не менее, как свидетельствует опыт отечественных разработок, выполненных в предшествующие годы, не менее значительные результаты могут быть достигнуты также при существующих обстоятельствах [1]. Последнее означает, в частности, что дальнейшие улучшения, основанные на модернизации технической базы производства рамных крепей, являются весомым резервом дальнейшего совершенствования на перспективу.

Для удобства рассмотрения и анализа новые технические решения целесообразно рассматривать по трем основным направлениям.

1. Изменения типа рамной конструкции.
2. Изменения замковых соединений и узлов податливости.
3. Изменения типа прокатных профилей и улучшение физико-механических свойств используемых материалов.

Технологические улучшения в рамках процесса производства крепи, свисящие от уровня его оснащённости в настоящей публикации не рассматриваются т.к. их перечень и содержание, а также степень эффективности достаточно хорошо известны из практики зарубежных фирм. Их внедрение в отечественную практику определяется не столько уровнем осознания необходимости как, главным образом, наличием инвестиционных средств.

1. Тип крепёжной рамы.

Применительно к отечественной практике следует, в первую очередь отметить очевидную недооценку возможностей улучшения эксплуатационных свойств крепи за счёт изменения конфигурации рамной конструкции. Преимущественно используемый в традиционных арочных крепях (КМП-А3 и КМП-А5) тип крепёжной рамы, а именно - циркульная двухшарнирная статически неопределимая арка, никоим образом не может быть признан отвечающим возникающим на больших глубинах схемам нагружения конструкций. Это связано с возникновением неравномерных по периметру рамы усилий, в ряде случаев близких по характеру к сосредоточенным [2]. Прямым следствием такого обстоятельства, наряду с основным принципом, положенным в основу при создании традиционных крепей (каждому сечению – свой типоразмер прокатного профиля), является наличие критических аварийно деформируемых элементов и общее нерациональное использование металла.

Поэтому необходимое изменение формы крепёжной рамы преследует, прежде всего, цель повышения эффективности используемого материала крепи. Именно на этой основе может быть достигнуто снижение удельной металлоёмкости крепления, т. к., в силу появляющейся возможности повышения рабочего сопротивления при сохранении необходимого запаса прочности может быть снижена металлоёмкость крепления одного погонного метра выработки.

Следует иметь в виду, что в отечественной практике в предшествующие периоды предпринимались отдельные попытки модернизации циркульных конструкций в направлении их приближения к эллипсным. В хронологическом порядке можно отметить прежде всего двухрадиусные крепи типа КЭП конструкции МакИСИ и т. н. «шатровые» крепи КШПУ и КЦЛ (рис. 1, в, г). Оба типа достаточно широко применялись - первая - в системе Укршахтостроя, вторая (также и в настоящее время) на шахтах ГХК «Павлоград-уголь». Эффект применения указанных конструкций является несомненным, что в целом подтверждает правильность исходной предпосылки, однако не является решающим. Причиной такого положения является на наш взгляд недостаточная степень приближения к идеальной форме (полуэллипс) и ряд специфических недостатков: ограниченная податливость и характеристика нарастающего сопротивления (КЭП), неблагоприятное расположение узлов

податливости и большие (до 2,0м.) прямилинейные участки на боковых сегментах (КШПУ).

В обоих типах использованы несовершенные замковые соединения типа АПЗ.030, не обеспечивающие устойчивость конструкции в податливом режиме. В то же время, весьма серьезным достоинством шатровых крепей представляется наличие горизонтальных составляющих реакций в нижних опорах, следствием чего является повышенная устойчивость конструкции в целом и, одновременно, активное противодействие усилиям, вызывающим пучение почвы.

Указанные выше недостатки этих конструкций в значительной степени отсутствуют в конструкции четырехзвенной эллипсной крепи типа ТН (рис.1д.), широко используемой в зарубежной практике (Германия). Конфигурация сечения в форме полуэллипса достигается изгибом сегментов с использованием копирустройства. В конструкции использованы совершенные замковые соединения и ряд других технических решений подчиненного характера (новые типы прокатных профилей, низколегированные стали и т.п.). Тем не менее, основным фактором, обусловившим технико-экономическую результативность применения, представляется удачный выбор типа конструкции, соответствующей

возникающей схеме нагружения. Обращает на себя внимание также то обстоятельство, что помимо описанного основного типа конструкции, введенного в общегерманский стандарт (DIN), та же фирма предлагает еще и 12 специальных конструкций (т.н. "Sonderformen"), призванных охватить большинство случаев варьирования схем нагружения, встречающихся в практике и определяемых как условиями залегания, так и особенностями сложения вмещающего массива.

Таким образом, исходя из приведенных выше соображений, с учетом временных ограничений, налагаемых состоянием технической базы отечественных предприятий, исключающих возможность прямого заимствования, в качестве основных к новой конструкции крепи могут быть выдвинуты следующие первоочередные технические требования.

1. Конфигурация сечения максимально приближенная к эллипсу (полуэллипсу);
2. Расположение узлов податливости на участках периметра с минимальным (в идеале - нулевым) значением изгибающего момента;
3. Использование специальных приемов, обеспечивающих повышенные силовые и кинематические характеристики.

Приведенным требованиям в значительной мере отвечает конструкция пятизвенной двухрадиусной крепи типа КМП-А5С, приведенная на рисунке 1г., разработанная в 1997г. Донбасским научным центром АГН Украины и

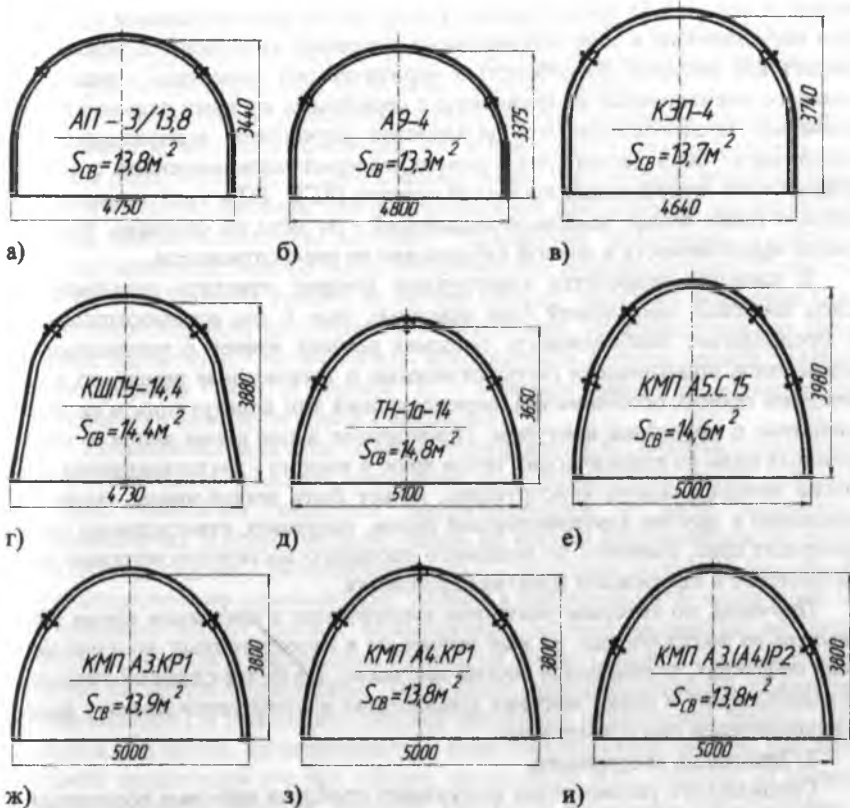


Рис. 1. Развитие рамных конструкций в направлении приближения к эллипсу (полуэллипсу).

широко (более 30 тысяч комплектов) проверенная в опытной эксплуатации на шахте им. А.Ф. Засядько в весьма тяжелых горногеологических условиях пласта m_3 [3]. Применяемый основной вариант исполнения сечением $18,7 \text{ м}^2$ в свету характеризуется следующими параметрами:

1. Соотношение высоты и ширины - 0,81;
2. Рабочее сопротивление рамы - 360 - 450 кН;
3. Конструктивная податливость - не менее 1000мм.

Крепь изготавливается из спецпрофиля СВП-33, использованы серийные замковые соединения типа АПЗ-070. Высокие эксплуатационные свойства наряду с оптимальным соотношением высоты к ширине (коэффициент эл-

липности около 1,6) обеспечиваются в основном расположением главных узлов податливости в зоне минимальных значений изгибающего момента и повышенной несущей способностью «критического элемента» - верхняка, имеющего уменьшенный по сравнению с серийными креплениями радиус изгиба. Изначально предположено, что дальнейшие улучшения эксплуатационных свойств могут быть достигнуты в рамках модернизации введением в конструкцию более совершенных профилей проката (КГВ, ТН и т.п.), новых материалов, а также новых замковых соединений - по мере их создания. Их возможная эффективность в данной публикации не рассматривается.

В качестве недостатка конструкции следует отметить повышенный расход замковых соединений (два основных узла и два вспомогательных), что предполагает необходимость создания рамных креплений с уменьшенным числом узлов податливости (четырёхзвенные и трёхзвенные рамы), но с сохранением прочих особенностей, определяющих тип конструкции и ее взаимодействие с породным контуром. Приведенная выше схема анализа, охватывающая один из канонических типов арки, а именно - двухшарнирную статически неопределимую конструкцию, может быть использована также по отношению к другим альтернативным типам, например, относительно трёхшарнирных арок, имевших до недавнего прошлого достаточно широкое распространение в зарубежной практике крепления.

Причины, по которым указанные конструкции в настоящее время почти вышли из употребления, на наш взгляд, не в недостаточных эксплуатационных свойствах, оказавшихся весьма высокими, а в более сложной технологии изготовления и более высоких требованиях к профессиональному уровню исполнителей при применении.

2. Замковые соединения.

Специального рассмотрения заслуживает проблема замковых соединений.

Несмотря на большое количество предложенных конструкций, удовлетворительное во всех отношениях техническое решение в отечественной практике до сих пор не найдено. Широко применяемые соединения из двух П - образных скоб с планкой и гайками АПЗ.030 замковыми соединениями в сущности не являются, а серийный замок АПЗ.070 имеет многочисленные недостатки принципиального характера: недостаточная жесткость конструкции, малое зажимное усилие, ослабляемость в процессе проседания, необходимость использования специального проката и т.д. Как и относительно типа крепежных рам, при разработке замковых соединений имеют силу те же ограничения, связанные с несовершенством технической базы производителей, исключающие на данном этапе возможность прямого заимствования. С другой стороны, роль замковых соединений при решении задачи достижения высокой и стабильной рабочей характеристики трудно переоценить т.к. именно этот элемент крепежной рамы определяет в конечном счете ее рабо-

тоспособность в интервале конструктивной податливости. Величина же произведенной работы является на сегодня единственным обоснованным критерием сравнительной оценки податливых рамных крепей.

При разработке отвечающего требованиям замкового соединения использована та же схема мотивации, что и при обосновании конструкции крепежной рамы КМП-А5С. Описываемое ниже техническое решение приводится в качестве примера, как компромиссное предложение на переходный период, одновременно учитывающее технические требования, а также состояние производственной базы отечественных производителей. Представилось целесообразным, приняв за основу широко известное резьбовое соединение типа АПЗ.030, дополнить его элементами, нейтрализующими два основных недостатка - возможность относительно легкого изгиба зажимной планки (полоса 18x60) и перекос "П" - образной скобы при взаимном проскальзывании элементов крепи в нахлестке.

Разработаны варианты замкового соединения АПЗ-030М, с элементами осуществляющими силовое замыкание узла. Вариантами таких стабилизирующих элементов являются сформированные в виде незамкнутых, неравноплечих угловых вставок, одним из концов опирающихся на стопорную планку, другим – застопоренных на П - образную скобу [4]. Несмотря на перераспределение возникающих усилий в конструкции и частичного предотвращения изгиба планки, незамкнутость вставки полностью не предотвращает поворота и деформации элементов замка. Предложенные и реализованные на практике варианты замкнутого пространственного усилителя – стабилизатора [5] полностью лишены указанных недостатков (рис.2). Опорная база усилителя, изготовленного в виде симметричной фигуры для произвольной ориентации его при сборке, плоскостью угла ложится на внешний контур шахтного профиля. Угловые плоскости усилителя-стабилизатора изготовлены эквидистантно внешнему контуру шахтного спецпрофиля, а параллельные – осуществляют силовое замыкание всей конструкции при зажатии резьбового соединения. Сформированные в параллельных плоскостях усилителя отверстия фиксируют его на скобе. При приложении внешних нагрузок, за счет упругих деформаций усилителя-стабилизатора, полностью выбираются монтажные и технологические зазоры, тем самым осуществляется силовое замыкание системы. Усилители-стабилизаторы изготавливаются на стандартном прессовом оборудовании, причем исполнение их может быть привязано к имеющимся в наличии металлопрокату и его отходам, что объяснимо многообразием разработанных вариантов [5]. Различные по техническому исполнению усилители - стабилизаторы прошли испытания как на стендах, так и в производственных условиях- на шахте им. А.Ф.Засядько, шахтах Ясиновская-глубокая, им.А.Стаханова в1998-2002гг.Во всех случаях замковое соединение с усилителями –стабилизаторами показали высокую на-

дежность и полностью подтвердили правильность исходных предпосылок и перспективность решения задачи в целом.

3. Специальные приемы.

Перечень специальных приемов, обеспечивающих повышенные силовые характеристики и их стабильность, определяется следующими моментами. Величина усилия проседания в нахлестке образующих сегментов зависит от зажимного усилия, создаваемого замковыми соединениями и дополнительного усилия, возникающего в результате клинового эффекта при полной посадке профиля в профиль. Величина такого дополнительного усилия естественным образом зависит от длины нахлестки. При относительно небольших значениях конструктивной податливости влияние соответствующего увеличения длины нахлестки на общую величину рабочего сопротивления узла податливости незначительно и обычно компенсируется ослаблением начального зажимного усилия замка, происходящим из-за явления ползучести стали при длительной нагрузке. В новых конструкциях податливых рамных крепей с потенциалом конструктивной податливости до 1000 мм и более, влиянием дополнительного усилия пренебрегать нельзя, т.к. характеристика крепи приобретает четкий характер нарастающего сопротивления с повышением вероятности перехода в жесткий режим. Таким образом, возникает требование обеспечения постоянства участка зажима (расстояния между замками) на протяжении всего интервала конструктивной податливости, вплоть до его исчерпания. На практике прием может быть реализован известными средствами: фиксацией одного из замков на конце образующего сегмента и второго замка - на заданном расстоянии от первого, определяемом необходимой длиной участка зажима. Понятно, что количество замковых соединений на одну нахлестку должно быть не менее двух. Целью такого условия, однако, является не только обеспечение постоянства длины зажима, но и создание противомомента, необходимое в случаях, когда узел податливости располагается на участке периметра крепи, где величина изгибающего момента имеет значение, отличное от нулевого. В традиционных крепях типа АП-3, АП-5 с замками ЗСД это условие заведомо не соблюдается.

Следует упомянуть еще один прием, который может быть использован в новых конструкциях крепей с целью повышения стабильности рабочей характеристики, в особенности на начальном ее участке. Известно, что именно первый сброс нагрузок зачастую оказывается наибольшим и только затем величины разброса стабилизируются на характерных для конкретных конструкций значениях. Причины такого явления заключаются в следующем. Во-первых зажимные усилия в замках вначале имеют наибольшие значения и лишь впоследствии уменьшаются в результате крипа стали и пластических деформаций деталей замков. Во-вторых, на начальном участке проседания, в наибольшей степени сказывается неполное прилегание сопрягаемых сегментов

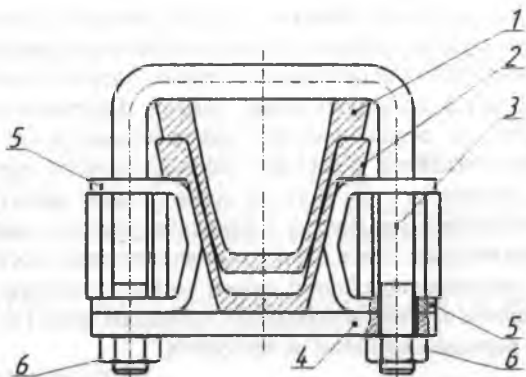


Рис.2. Замок узла податливости с усилителем-стабилизатором: 1, 2 - шахтный спецпрофиль; 3 – П-образная стяжка; 4 - планка; 5 - усилитель-стабилизатор; 6 - гайка резьбовая.

наибольшей степени сказывается неполное прилегание сопрягаемых сегментов на участке нахлестки, имеющем длину, больше длины неизбежного технологического прямого участка на конце. При гибке на роликовых гибочных машинах длина такого прямого участка обычно составляет от 200 мм (зарубежная практика) до 300 мм (отечественные заводы-изготовители); при горизонтальных правильно-гибочных машинах типа МПГ, используемых шахтами для правки извлеченных элементов и, частично, при изготовлении новой крепи собственными силами, длина технологического прямого участка достигает 400 мм. Поэтому, на наш взгляд заслуживает внимания и всесторонней проверки прием, заключающийся в том, что уже при изготовлении новых крепей предусматривается оставление на концах образующих сегментов прямолинейных участков, образующих при монтаже узел податливости с идеальным прилеганием спецпрофиля. Впоследствии, при податливости, такой прямолинейный участок одного из сегментов выходит на криволинейный участок сопряженного сегмента с некоторым дополнительным напряжением замков, призванным компенсировать последствия крипа. Величина такого дополнительного напряжения вполне предсказуема, поддается расчету и определяется исходя из известных заранее параметров – радиуса изгиба, расстояния между замками и их взаимного расположения. Учитывая, что в эллипсных и двухрадиусных крепях радиусы гибки сопрягаемых сегментов резко различаются, должно быть соблюдено условие, согласно которому прямолинейный концевой участок одного из сегментов, имеющего большую кривизну, имел бы по отношению к сопрягаемому элементу с малой кривиз-

ной внутреннее расположение. Иными словами, верхняя эллипсных или двухрадиусных конструкций должен устанавливаться по подвесной схеме. В обычных циркульных креплениях использование приема следует считать принципиально невозможным в силу очевидных причин. Перечень специальных приемов естественно не ограничивается приведенными выше. Например, перспективным представляется решение с использованием изгиба верхних сводообразующих сегментов в два радиуса, когда средняя часть (у замка свода) изгибается уменьшенным радиусом, а концевые участки – радиусом, равным радиусу изгиба боковых стоек. При этом одновременно достигаются две цели: повышается несущая способность «критического элемента» и размещение узлов податливости в зоне минимальных моментов (рис. 1и). Изменения схемы постановки верхнего при этом не требуется.

Выводы.

1. Переход на применение новых конструкций рамных податливых креплений является весьма актуальной и перспективной в технико-экономическом отношении задачей, предполагающей интенсивный поиск соответствующих технических решений.

2. Выбор таких решений серьезно ограничен состоянием технической базы отечественных предприятий, и в силу чего положительный зарубежный опыт не может быть немедленно использован путем прямого заимствования.

3. Тем не менее, имеется достаточный положительный опыт использования ряда технических решений, имеющих компромиссный характер, но в то же время позволяющий получить весьма значительный технико-экономический эффект при их реализации в тяжелых условиях эксплуатации на глубоких шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязнов В.С., Ефремов И.А., Петров В.В., Сугаренко Г.Г. Опыт применения креплений нового технического уровня. Уголь Украины, 1999, №4.
2. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. – М., Недра, 1966, 160стр.
3. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев Н. И. Стальные рамные крепи горных выработок. – Київ, „Техніка”, 1999, 49 стр.
4. Сугаренко Г. Г., Халимендик Ю. М. З'єднувальний вузол металевого податливого кріплення зі спецпрофілю Патент України №43111.
5. Сугаренко Г. Г., Алієв Н. А., Кириченко В. Я. Замок вузла податливості металевого рамного податливого кріплення з шахтних спецпрофілів. Заявка на патент України №2002108533 от 28.10.2002р.