

Б.М. Усаченко, д-р техн. наук, проф.,

В.Н. Трипольский, гл. технолог
(ИГТМ НАН Украины)

А.А. Яйцов, директор департамента,
(ЗАО «Донецксталь»– металлургический завод»)

Е.Н. Халимендинов, гл. инж.
(ОАО «Угольная компания»

Шахта «Красноармейская – Западная №1»)

КОМБИНИРОВАННЫЕ ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ НАРОСТАЮЩЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ – БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

Наведені варіанти комбінованих охоронних систем для підтримки гірничих виробок глибоких шахт.

COMBINED SECURITY SYSTEMS OF INCREASING RESISTANCE, NO ALTERNATIVE TECHNOLOGY TO MAINTAIN EXCAVATION DRIFTS

The variant of the combined security systems to maintain the mine workings in deep mines are described.

В угледобывающих странах мира разработаны различные подходы в выборе средств и технологий поддержания выработок в зоне влияния очистных работ, которые базируются на одном и том же принципе – учете механизма взаимодействия системы «крепь – массив», который определяют как режим взаимовлияющих деформаций. Из этого следует, что выбор типа крепи должен осуществляться по величине ожидаемых смещений пород, оцениваемых по потере высоты штрека. Теорией и практикой доказано, что при 10% -ой потере высоты выработки возможно применение жестких крепей, при условии, что суммарная потеря высоты с учетом технологического уплотнения пород не превышает 15%. При потере сечения штрека до 45% рекомендуется комбинированная система (рама, анкер, приштрековая полоса), при конвергенции более 45% обязательным должно быть упрочнение породного массива и тампонаж закрепного пространства. Наибольший опыт в этом плане накоплен угольными шахтами Германии. Отдельные шахты ведут работы на глубине 1400 м. Считают, что успех угледобычи на таких глубинах обеспечен кооперацией шахт и Исследовательского центра горной крепи и механики горных пород (г. Эссен), которые создали «Систему контроля горного давления».

Исследованиями и практикой доказано, что жесткие крепи бесперспективны для поддержания выемочных штреков. Генеральное направление по обеспечению эксплуатационной надежности штреков связано с применением комбинированных систем на базе арочной крепи в вариантах с инъекционным упрочнением породного массива и тампонажем закрепного пространства.

Новые формы проявления горного давления на глубинах 800-1200 м требуют новых подходов в поддержании выемочных штреков. Для глубоких шахт это очевидная задача. Применение тампонажных технологий неизбежно.

Ключевой задачей по проблеме является разработка технологических регламентов по созданию геокомпозитных (породный массив – твердеющие вяжущие) охранных систем выемочных штреков грузонесущей способностью до 300 кН/м². Немецкие специалисты считают, что отработку угольных пластов можно эффективно вести на глубинах до 1500 м, а при благоприятных условиях до 1600 м. Обязательным при этом является:

- 1) классифицированная оценка свойств породного массива;
- 2) прогноз ожидаемых смещений пород в полость выработки;
- 3) учет особенностей проявления горного давления, которое на глубинах 700-1000 м отличается от такого на глубинах до 700 м;

4) профессиональное проектирование проведения и крепления выработок с учетом того, что геостатическое давление линейно увеличивается с глубиной и зачастую превосходит (или сопоставимо) прочность пород и превышает несущую способность применяемых крепей;

5) переход добычи угля на большие глубины требует организации системных шахтных экспериментов для обоснования оптимальных решений по ведению горных работ, которые обеспечат реорганизацию производства с целью существенного сокращения численности людей, занятых на поддержании горных выработок.

Практикой зарубежных и отечественных угледобывающих шахт доказано, что безальтернативным направлением обеспечения устойчивости выемочных штреков является применение комбинированных охранных систем нарастающего сопротивления. Специалисты считают, что даже на глубинах 1400-1600 м центральным звеном в охранной конструкции остается арочная крепь. Немецкими специалистами разработана матрица применения охранных систем выемочных штреков с учетом увеличения глубины разработки угольных шахт (1).

Каждая конструкция крепи характеризуется пределом податливости, при котором имеет место определенная потеря сечения штрека. В качестве иллюстрации на рис. 1. приведены связи между типом крепи, затратами металла и потерей сечения выемочного штрека. Очевидно, что жесткую крепь целесообразно применять в тех условиях, когда прогнозируемая конвергенция (сближение почва-кровля) в выработке не превышает 15% ее первоначальной высоты. Обязательным является забутовка закрепного пространства дробленой породой. При ожидаемой 20% потере высоты штрека, в случае применения жесткой крепи, закрепное пространство должно быть заполнено быстротвердеющим гидравлическим вяжущим, что создает жесткую оболочку, несущая способность которой в 10-15 раз выше, чем рамной крепи.

Опыт поддержания выработок повторного использования на глубоких шахтах показал, что, несмотря на значительную работу, проведенную в этом направлении, потеря сечения выработок уже на расстоянии 30 м за лавой достигает 50 % и более от проектного значения. Этому, на наш взгляд, способствуют

следующие факторы:

- горно-геологические условия отработки угольного пласта;
- технологические факторы;
- нарушение технологии крепления выработок.

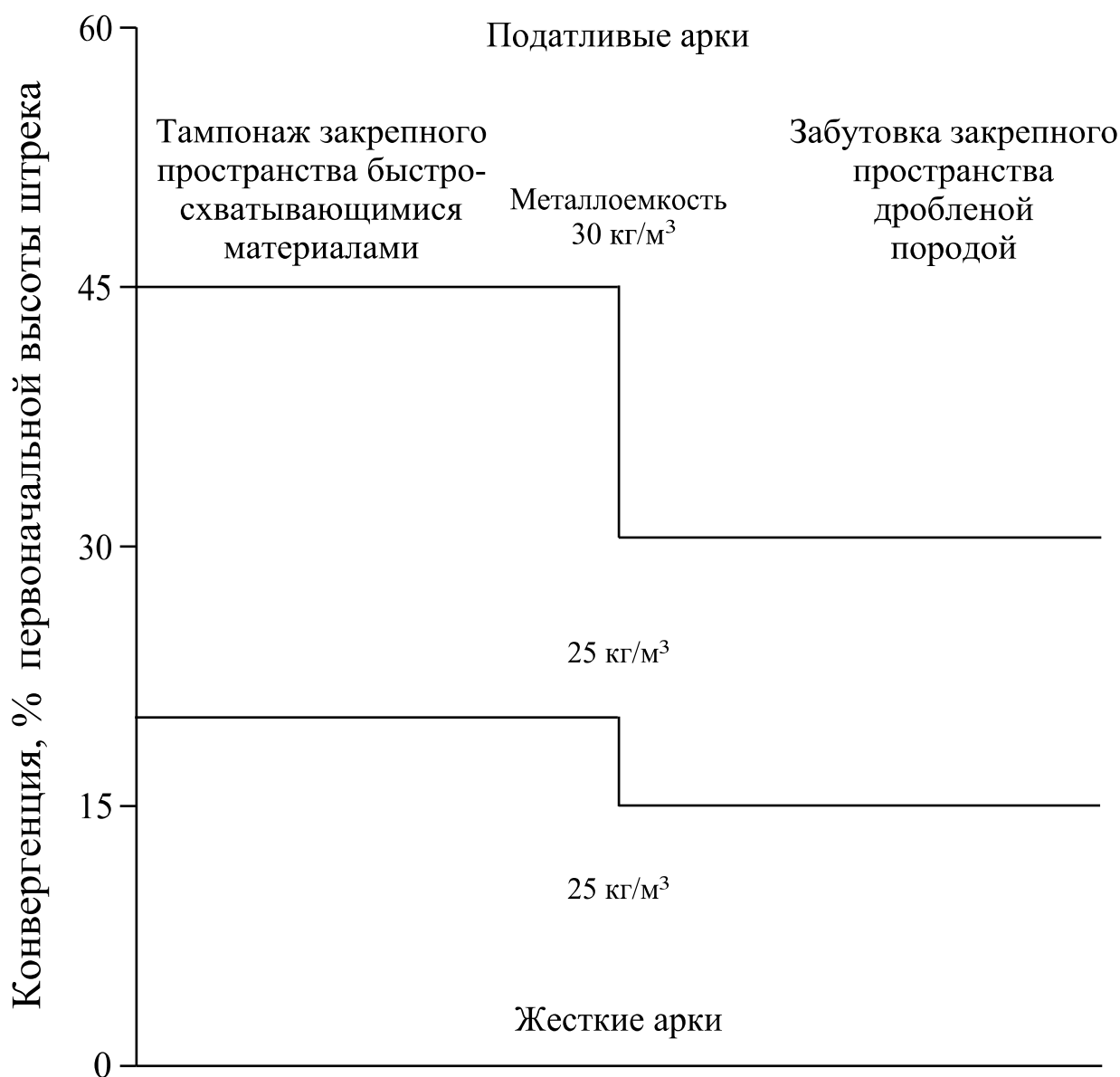


Рис. 1 – Область применения жестких и податливых крепей

Первая группа факторов является неуправляемой и обусловлена естественными свойствами породного массива. Она включает:

- наличие зон повышенной фильтрации в кровле и почве пласта;
- алевролит в кровле и почве пласта, прочностные характеристики которого в зависимости от степени увлажнения снижаются в 1,5 - 2,5 раза;
- склонность пород почвы к пучению;
- слоистая структура непосредственной кровли;
- наличие значительного количества участков со средне- и труднообрушаемой кровлей, что вызывает повышенные статические и динамические нагрузки

на охранную систему после выемки угольного пласта.

Вторая группа факторов обусловлена особенностями технологии отработки пласта и поддержания выемочного штрека. Наиболее нагруженным элементом комбинированной охранной системы является литая полоса. Существующая технология для возможности транспортирования твердеющей смеси на значительное расстояние предусматривает избыточное по сравнению с оптимальным (в плане набора прочности) количество воды в смеси, которая дренирует в породы почвы, способствуя их дополнительному увлажнению и стимулируя пучение. Шахтный эксперимент и расчеты показали, что существует критическая скорость подвигания очистного забоя, при которой нарастание нагрузки на литую полосу еще компенсируется увеличением ее прочности в процессе твердения материала. Указанная величина оценивается нами значением порядка 4 м/смену (2).

Превышение указанной скорости с целью достижения рекордных нагрузок на лаву, приводит, с одной стороны, к увеличению шага обрушения основной кровли, а с другой стороны – к реальному снижению несущей способности литой полосы. За счет обеих указанных причин происходит перераспределение нагрузки в сторону увеличения давления на рамную крепь. Это явление проявляется в более активной форме при отставании возведения полосы от сопряжения штрека с лавой.

Наиболее значительной является третья группа факторов – нарушения паспортов крепления выработок.

Основным элементом для поддержания выработки до подхода лавы является рамная крепь. Ее эффективная работа предполагает более или менее равномерное распределение нагрузки по контуру отдельно взятой рамы, а также на совокупность смежных арок по длине штрека. Это условие во многих случаях не обеспечивается по следующим причинам:

- отсутствует затяжка и забутовка между аркой и массивом;
- отсутствуют жесткие распорные элементы между рамами.

Не полностью используются резервы рамной крепи, предполагающей определенное соотношение жесткости и податливости. Наблюдаются случаи работы крепи с соединением смежных элементов одним замком вместо двух.

Наибольшее количество проблем связано со случаями отступления от рекомендуемой технологии возведения литой полосы. Основными технологическими нарушениями являются:

- недолив полосы по высоте;
- задержка возведения полосы после прохода лавы;
- установка органной крепи вразбежку;
- частичное заполнение заливочных секций обрушенной породой;
- отсутствие забутовки между полосой и рамной крепью.

Переход на рамно-анкерное крепление подготовительных выработок позволил решить значительную часть проблем по поддержанию выработки в рабочем состоянии до подхода лавы. Однако, резервы анкерной крепи используются не полностью. Первая причина – запоздалая установка анкеров уже при наличии

расслоений в приконтурной зоне массива. Вторая – традиционная ориентация рамноанкерной схемы крепления на симметричный характер нагрузки, что не приемлемо для эффективного поддержания выемочного штрека за лавой.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что использование жестких крепей для поддержания подготовительных выработок в породах низкой и средней крепости не является приоритетным направлением. Жесткая крепь приостанавливает процессы перераспределения напряжений в приконтурной зоне породного массива, способствующие ее разгрузке. Громадный запас накопленной вокруг выработки упругой энергии в совокупности со статическим давлением может привести к быстрому разрушению крепи в случае превышения ее предельной несущей способности. Поэтому наблюдаемая тенденция по совершенствованию рамных крепей, как основного элемента охранной системы, заключается как раз в повышении величины допустимой податливости крепи, но при одновременном увеличении рабочей и предельной несущей способности. Поскольку работа, выполняемая внешними силами горного давления по деформированию контура выработки на единичном участке ее поверхности пропорциональна давлению отпора крепи на величину ее радиального перемещения, то для крепей нового поколения она больше за счет возрастания обеих упомянутых деформационно-силовых характеристик. Сказанное иллюстрируется рис. 2.

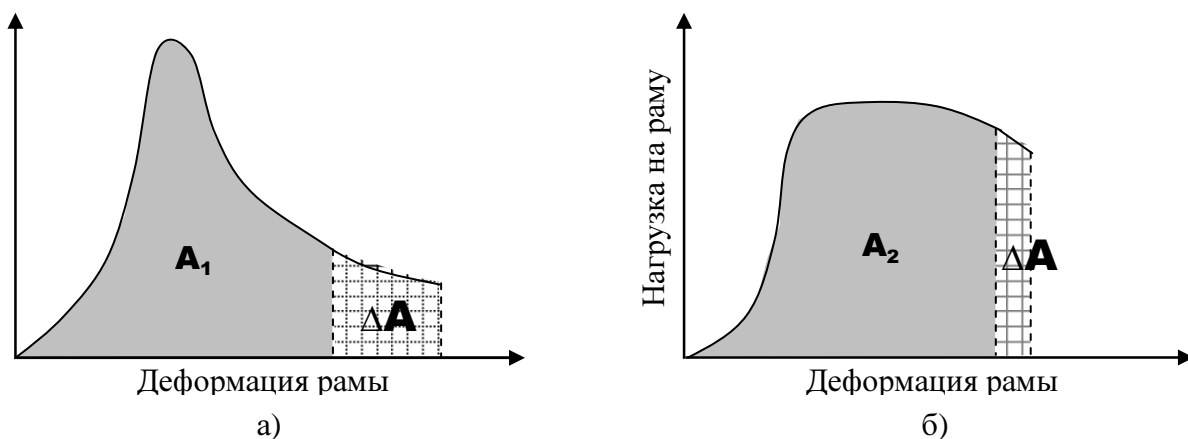


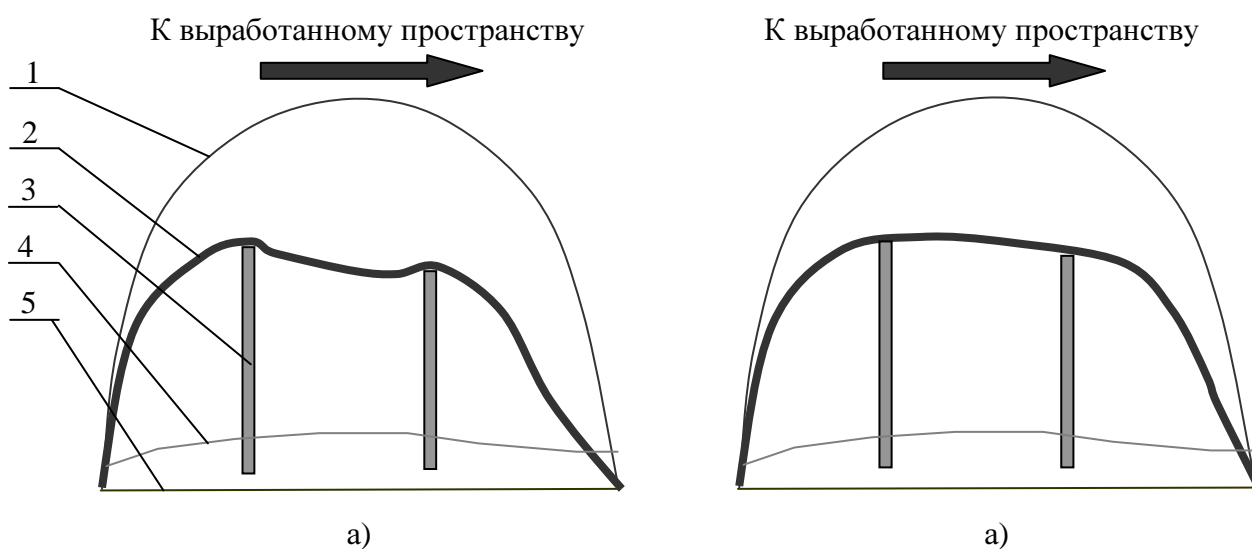
Рис. 2 – Схематические деформационные характеристики крепей:
а) – жесткой; б) - податливой

Выполненная силами горного давления работа по деформированию крепи равна площади под кривой деформирования. При одинаковой величине деформации площадь A_2 под второй кривой (величина работы) больше чем под первой A_1 , несмотря на то, что предельное усилие на крепь меньше. Естественно, процесс деформирования крепи при этом не останавливается. Одинаковая дополнительная работа ΔA , выполненная силами горного давления в первом случае приведет к значительно большим деформациям, чем во втором.

Эффективная работа крепи (относится ко всем ее видам – арка, анкер, литая полоса, деревянная стойка и т. п.) – это в первую очередь ее способность сохра-

нять постоянное сопротивление (и чем оно больше, тем лучше) при значительной деформации. Поэтому крепь, если она эксплуатируется при ожидаемых нагрузках, в пиках превышающих ее предельную несущую способность, без сомнения должна быть податливой. Известен отрицательный опыт применения жестких бетонных блоков БЖБТ, выкладываемых для охраны выемочного штрека с целью его повторного использования. Такой же отрицательный эффект был получен при экспериментальной эксплуатации замкнутой жесткой рамной крепи в условиях Западного Донбасса. Иное дело, что при сохранении податливости крепи в целом, отдельные ее элементы, подвергающиеся в наибольшей степени деформациям, должны быть ужесточены (принцип локального повышения жесткости). Место и характер деформаций дает анализ шахтных наблюдений за поведением отдельных видов крепи в зонах повышенного горного давления. Рекомендации по повышению жесткости, исходя из высказанных предпосылок, приведены ниже.

Наиболее деформируемым элементом арки является верхняк. Виды его деформации на удалении от пройденной лавы от 30 м и больше даны на рис. 3.



1 – проектный контур арки, 2 – фактический контур, 3 – деревянные стойки крепи усиления, 4 – фактический профиль подошвы, 5 – проектный профиль

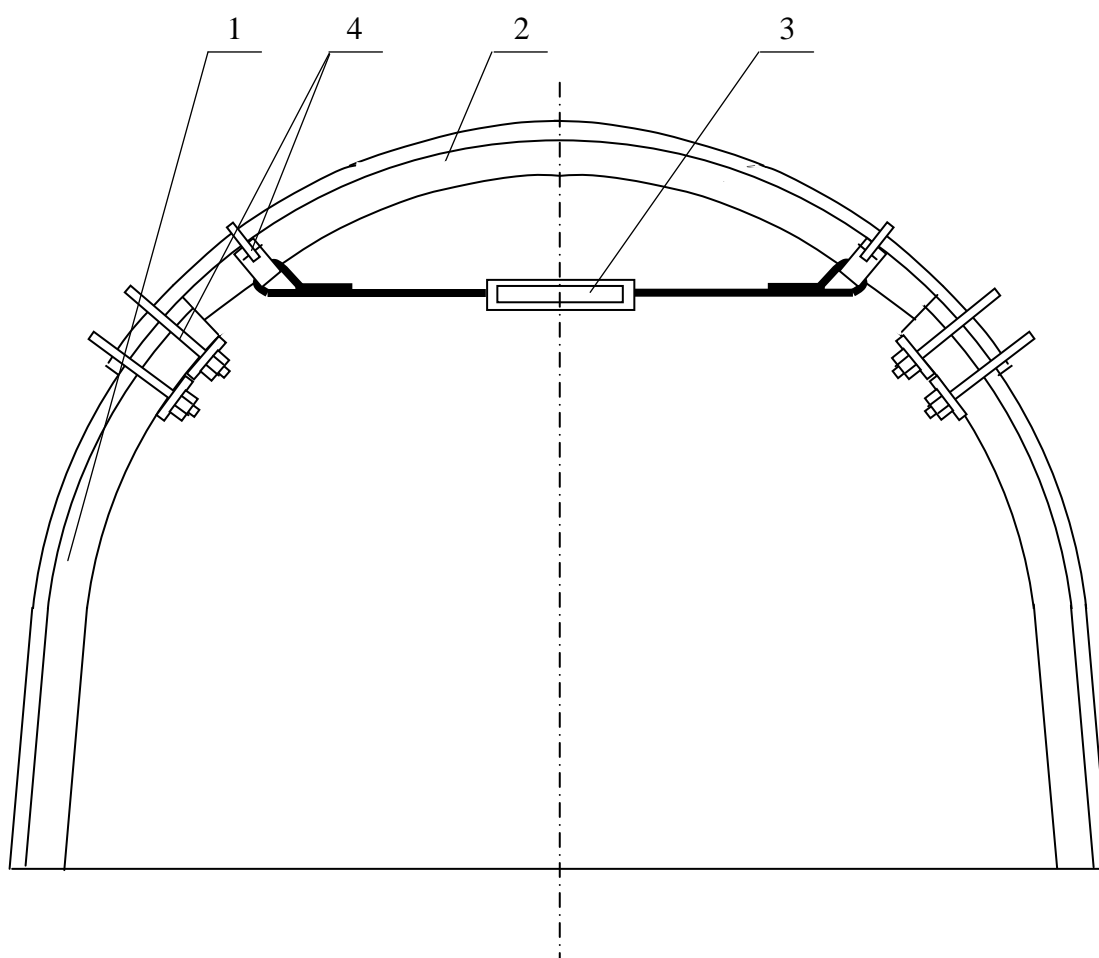
Рис. 3 – Типичные формы деформации рам крепи КШПУ: а) – с прогибом верхняка и стойки со стороны отработанного пространства; б) – с выположенным верхняком (горизонтальным или слегка наклонным);

Один из вариантов локального усиления жесткости в верхней части рамы предполагает установку дополнительного элемента в виде стяжки, которая может быть выполнена в нескольких вариантах. Первый из них представлен на рис. 4.

В рассматриваемом варианте в качестве силовоспринимающего элемента используется гибкая стяжка. Такое техническое решение предполагает наличие

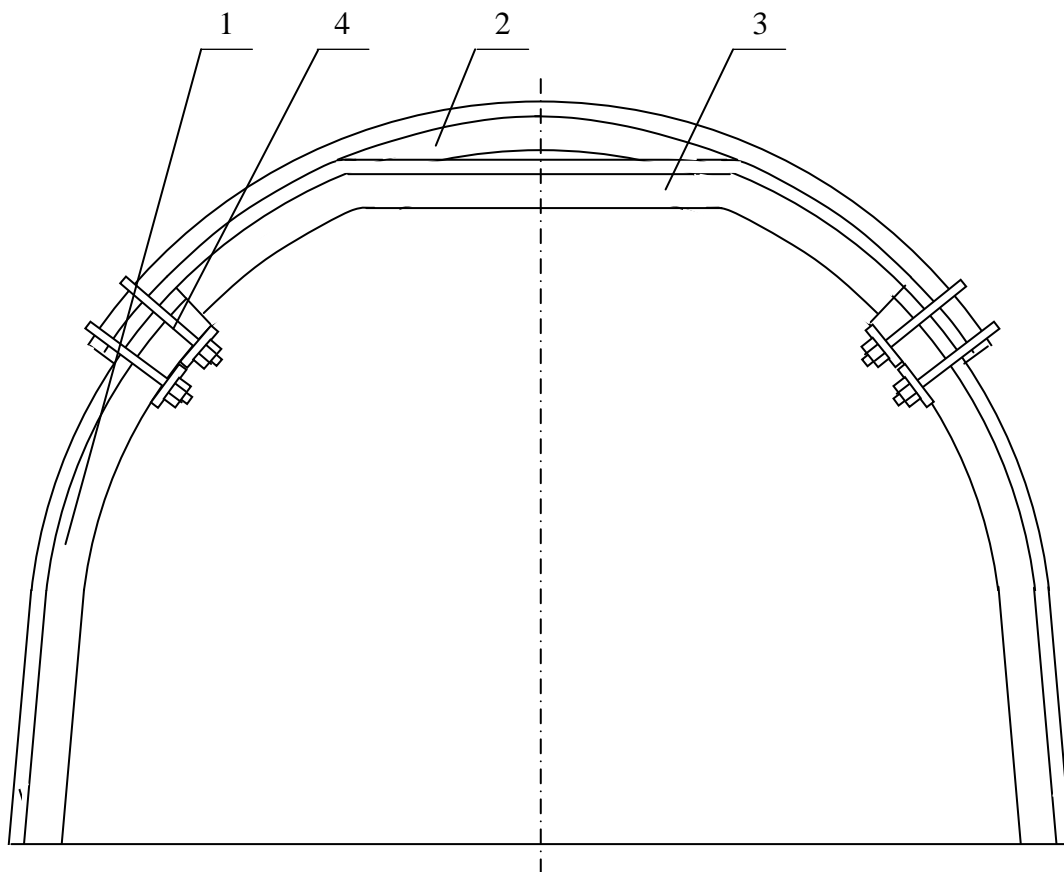
в усиливающем элементе растягивающих напряжений, для чего замковые соединения стяжки с верхняком должны иметь минимальную степень податливости. Достоинством предложенного технического решения является то, что стяжку монтируют на верхняке без нарушения его соединения со стойками.

Во втором варианте (рис. 5) усиливающий элемент выполняют из того же спецпрофиля, что и элементы уже установленной арки. Длина плоской части составляет около одной третьей развернутой длины верхняка. Радиусы изгиба концевых частей усиливающего элемента выбирают из условия их соответствия радиусам концевых участков верхняка и стоек с учетом их совместной стыковки и фиксации замками. При умеренных нагрузках происходит взаимное смещение элементов крепи, пока не будет выбрана податливость в узлах, фиксируемых замковым соединением. В дальнейшем усиливающий элемент препятствует возникновению растягивающих усилий в верхняке, препятствуя его выполаживанию под воздействием вертикальной сжимающей нагрузки



1 – стойка, 2 – верхняк, 3 – стяжка, 4 – замки

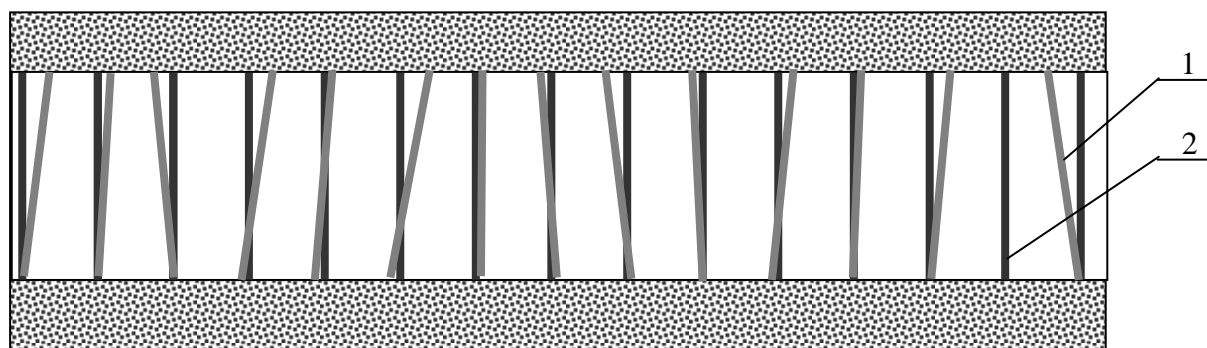
Рис. 4 – Первый вариант усиления рамы



1 – стойка, 2 – верхняк, 3 – элемент усиления, 4 – замок

Рис. 5 – Второй вариант усиления рамы

Шахтные исследования показали, что нагрузка на рамы по длине штрека весьма неравномерна. Отсутствие жесткой связи между рамами привело к уходу из-под нагрузки части рам за счет их наклона и перераспределения нагрузки на оставшиеся (рис. 6).



1 – фактическое положение рам; 2 – проектное положение

Рис. 6 – Проектное и фактические расположение рам вдоль выработки

Для предотвращения наклона рам необходимо обратить внимание на соблюдение технологии при их возведении с обязательной установкой между рамами жестких распорных элементов.

Нами проработан другой вариант формирования трехмерной охранной структуры, предполагающий определенную степень податливости отдельных звеньев. Он базируется на использовании анкерной стяжной крепи и представлен на рис. 7.

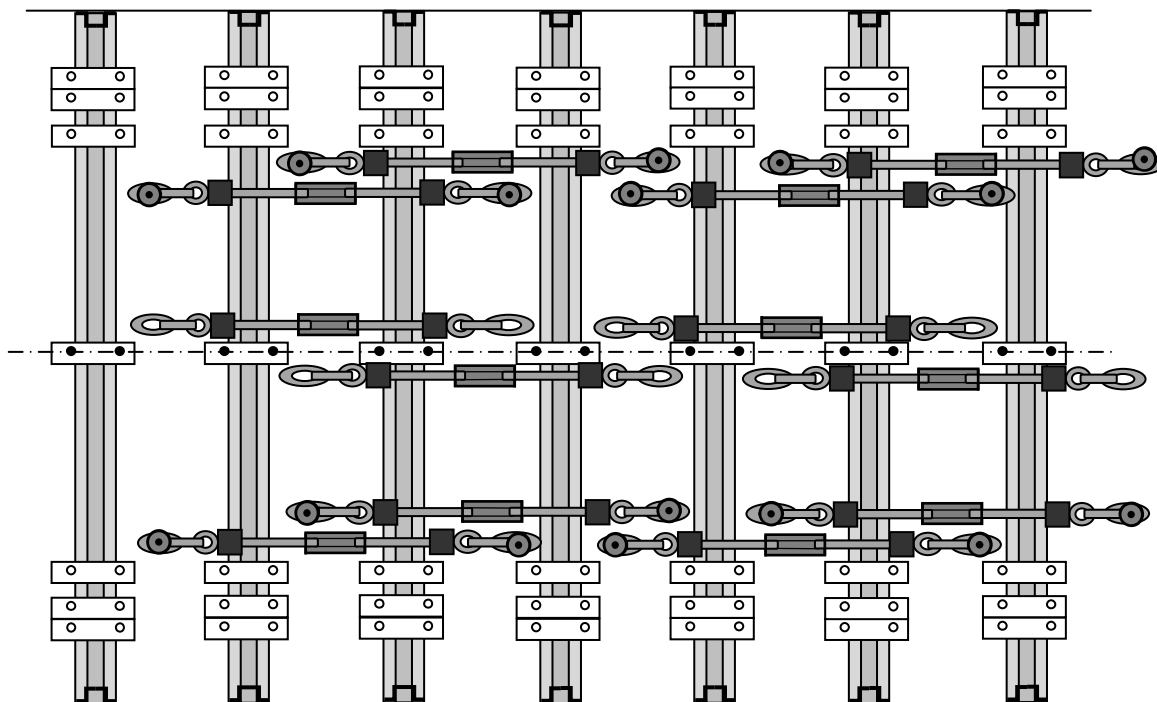
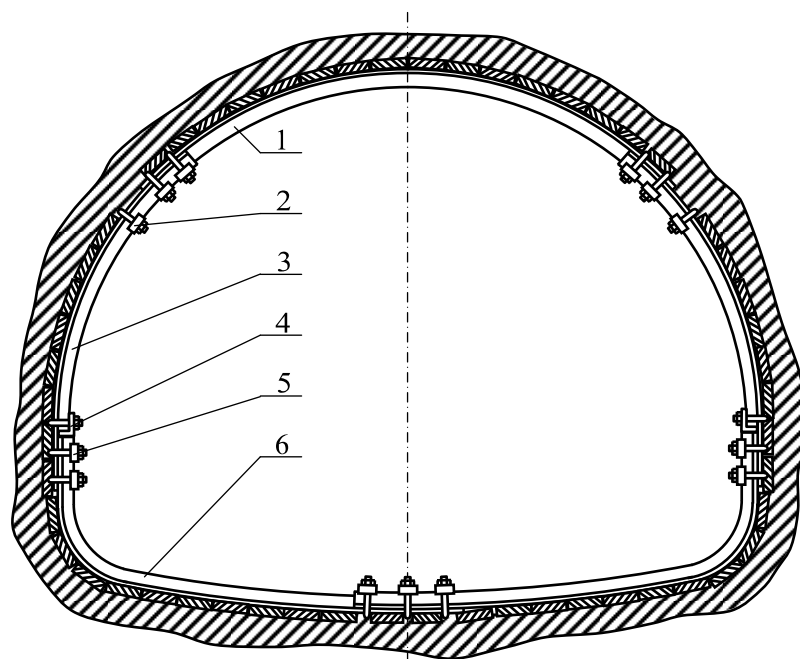


Рис. 7 – Схема формирования пространственной охранной конструкции с использованием анкерной стяжной крепи

ИГТМ НАН Украины совместно с институтом «Днепрогипрошахт» в условиях шахт Западного Донбасса (ш. «Степная», ш. «Западно-Донбасская») был проведен эксперимент по оценке работоспособности арочной металлокрепь повышенной жесткости. Конструкция крепи показана на рис. 8. В крепь КМП-АПЗ были добавлены элементы из стоек той же крепи, закрывающие почву выработки. Для обеспечения жесткости крепи под верхняк был установлен упорный замок, а для ограничения податливости со стороны почвы на стойках были приварены упоры. Наблюдения в штреке велись как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ. На 200 сутки величина конвергенции составила 480 мм, 60% - опускание кровли. При воздействии очистных работ крепь работала уже в жестком режиме. Деформирование крепи проявилось в виде выполаживания спецпрофиля по кровле и потери его устойчивости в виде циркульного прогиба («седло») в полость выработки. Деформация лежаков в почве происходила первоначально в виде бокового выпучивания, а затем имел место их вертикальный подъем с формированием «шатра». Крепь пришла в негодность, выработка была перекреплена с большими затруднениями.



1 – верхняк; 2 – упор верхняка; 3 – стойка;
4 – упор; 5 – замок; 6 – лежень

Рис. 8 – Экспериментальная жесткая (ограниченно-податливая) крепь

Специально проведенные шахтные эксперименты по оценке сопротивления крепи на уменьшение сечения выработки (3), закрепленной стальными лежаками в почве и жесткими стойками показали, что сопротивление на жесткую крепь быстро возрастало, непродолжительное время максимальная нагрузка составляла 1150 кН/м^2 (115 т/м^2) после чего крепь разрушилась и сопротивление ее стало нулевым. На другом участке максимальное сопротивление крепи достигло 750 кН/м^2 , что вызвало вдавливание крепи в почву и падение сопротивления до 510 кН/м^2 . По совокупности результатов экспериментов сделан вывод: шестикратное увеличение сопротивления крепи вызвало уменьшение конвергенции на 36%. Экспериментами, когда сопротивление крепи регулировалось от 100 кН/м^2 до 54000 кН (суммарное сопротивление крепи) конвергенция снизилась лишь на 4%, крепь не оказала существенного влияния на смещение пород. **Сделан окончательный вывод касательно выбора конструкции крепи выемочных штреков: крепь должна быть совершенно податливой по отношению к опусканию «кровли в выработанном пространстве».**

Шахтными экспериментами доказано, что при больших перемещениях пород необходимо создавать крепь большого сопротивления, используя арочную металлокрепь, а в качестве усиления применять упрочнение породного массива и заполнить закрепное пространство торкретраствором (сухой или мокрый способ). Сделан вывод, что качественное первичное крепление выработки требует меньших затрат, чем повторная подрывка и перекрепление выработки.

Весьма важным обстоятельством в поддержании выемочного штрека является неизбежное воздействие посадки основной кровли, проявляющееся в форме динамической нагрузки.

Жесткая крепь в таких условиях будет претерпевать разрушающие деформации. В практике угольных шахт Германии имело место применение жестких крепей типа «жесткие бесшарнирные арки», изготавливаемые из таврового профиля. Однако, такие крепи рекомендованы только для полевых штреков, проведенных по породам.

Проверяя работу такой крепи, специалистами сделан вывод «для крепления выемочных штреков жесткая арочная крепь непригодна, так как она неподатлива» (4).

Оценивая поведение пород вокруг выемочных штреков как формирование упругопластической среды, сделан также вывод о том, что жесткость крепи не должна превышать жесткости пород кровли угольного пласта. Добавим, что слишком жесткая крепь будет разрушать слабые породы почвы.

Широкомасштабные исследования деформирования породного массива в выемочных штреках шахты «Красноармейская-Западная № 1», проведенные ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины, показали, что разрушение пород над штреками происходит по трем стадиям: смещение пород без образования пустот (10-15%), затем с образованием пустот (крипт) между слоями (до 45% потери высоты штрека) и, наконец, формирование блочно-дискретной структуры массива (до 70%). Именно эти особенности являются предпосылкой для приконтурного (до 1,5 м) и глубинного (до 3,0 м) упрочнения породного массива.

Другая важная форма разрушения массива пород вблизи штреков – это разрыв пород кровли трещинами, которые наклонены в сторону лавы под углом до 70°.

Это свидетельствует о том, что на сопряжении, в так называемых эпицентральных зонах, породы крайне ослаблены и для повышения их устойчивости следует производить приконтурное упрочнение массива (1,5-2,0 м).

Третья особенность в поддержании выемочных штреков связана с тем, что арочная крепь после установки не имеет надлежащего контакта с породным массивом и не работает как активная система. В связи с этим, очевидна необходимость проведения тампонажа закрепного пространства.(5).

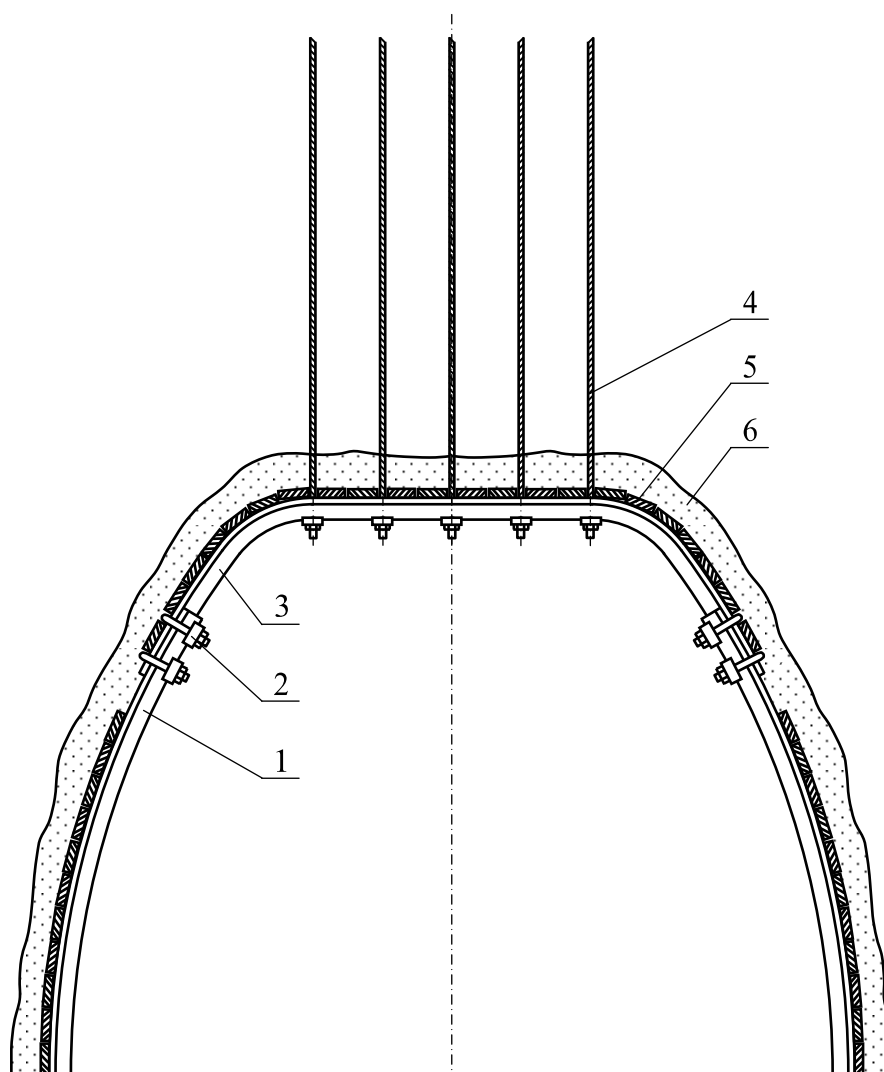
В контексте рассматриваемого вопроса укажем еще на одно крайне важное обстоятельство. Практикой немецких угольных шахт доказано, что заполнение закрепного пространства твердеющими вяжущими должно производиться в тех штреках, где прогнозные расчеты показали, что ожидаемая конвергенция будет составлять 45-60%.

В Германии 93% штреков проводится с тампонажем закрепного пространства. Конвергенция в штреках снижена с 60 до 30%. Трудозатраты на поддержание штреков снизились на 42%, а стоимость тампонажа составляла 600 DM/м (сюда входит комбайновая проходка, затраты на машины, оборудование, энергию).

Первоначально переход на описанную технологию вызвал существенные технические и организационные осложнения. Сегодня тампонаж не является тормозом для проходки и никого не удивляет необходимость выполнения этих работ.

Следует добавить, что тампонаж свел к минимуму проблему поддержания сопряжения лавы со штреком: малое разупрочнение кровли пласта.

В качестве примера на рис. 9 приведена конструкция охранной системы с тампонажем закрепного пространства на базе крепи КЦЛО.



1 – стойка; 2 – замок; 3 – верхняк; 4 – анкер; 5 – затяжка; 6 – забутовка

Рис. 9 – Комбинированная охранная конструкция выемочных штреков высокой несущей способности (крепь КЦЛО, анкер, тампонаж)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глюкауф, 2008, №2
2. Агафонов А.В, Кожушок О.Д. Халимендигов Е.Н, Прохорец Л.В. Синтез комбинированных охранных систем для поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр./ Ин-т геотех. мех. НАН Украины,- Днепропетровск, 2009.- Вып. 83.- С.73-86.
3. Глюкауф, 1962, № 5.- С. 17-18.
4. Глюкауф, 1964, № 10.- С.669
5. Мусиенко С.П. Индустриальные технологии сооружения высоконагруженных комбинированных охранных систем горных выработок // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр./ Ин-т геотех. мех. НАН Украины,- Днепропетровск, 2006.- Вып. 66.- С.113-119.