Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.

КРЕПЛЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Профессор *Б. В. Бокий*,
канд. техн. наук *В. В. Смирняков*
(Ленинградский горный ин-т)

Поддержание подготовительных выработок в хорошем состоянии является одним из условий, определяющих нормальное развитие очистных работ.

На поддержание подготовительных выработок непроизводительно затрачиваются значительные средства. Например, в Донецком бассейне только по прямой заработной плате ежегодно расходуется около 70—80 млн. руб. [2], а число рабочих, занятых по поддержанию выработок, в среднем составляет 10—15% от общего их состава на шахте. Фактические убытки от неудовлетворительного состояния выработок значительно превышают указанные выше. Плохое состояние выработок приводит к снижению производительности шахтного транспорта в результате нарушения профиля рельсового пути, к ухудшению проветривания очистных забоев, затруднению водоотлива и т. д. В некоторых случаях срывается работа очистных забоев, ущерб от вынужденной остановки которых во много раз превышает затраты на ремонт выработок.

Практика показывает, что устойчивость подготовительных выработок, кроме применения рациональных конструкций крепи, может быть повышена за счет ряда мероприятий, основными из которых являются следующие.

1. Выбор эффективного для конкретных условий способа охраны выработок.
2. Разгрузка от опорного давления части массива горных пород, в которой поддерживаются выработки.
3. Расположение подготовительных выработок в крепких породах.
4. Сокращение сроков поддержания выработок в зоне влияния очистных работ путем применения соответствующих схем подготовки блоков шахтных полей.
5. Упрочнение пород, окружающих выработку.

Применение одного или всех этих мероприятий снижает вредное влияние очистных работ на состояние выработок, но не ликвидирует его полностью и при существующих видах крепи не обеспечивает безремонтного поддержания выработок. Кроме того, использование некоторых мероприятий для повышения устойчивости выработок приводит к появлению других, более тяжелых последствий для производства. Известно, что расположение полевых выработок в крепких породах

значительно повышает их устойчивость. Однако именно в этих породах с переходом горных работ на глубокие горизонты имеют место внезапные выбросы породы, последствия от которых не окупаются никакими средствами, так как зачастую связаны с человеческими жертвами.

В настоящее время наиболее тяжелые условия поддержания выработок имеют место на глубоких горизонтах. Так, по данным Донецкого научно-исследовательского угольного института (ДонУГИ), трудоемкость поддержания 1 *км* выработок на ряде глубоких шахт Донбасса возросла с 3,6 до 5—10 чел.-смен [2].

Значительная часть новых разведанных запасов Донбасса, расположенных на глубинах 1000—1600 *м*, разработка которых предстоит в ближайшем будущем, залегает среди глинистых и песчанистых сланцев, обладающих пластическими свойствами.

Как показывает опыт глубоких шахт, процесс выдавливания таких пород в выработки настолько интенсивен, что последние приходится перекреплять еще до начала очистных работ.

В других бассейнах, например Кизеловском, Кузнецком, Печорском, Карагандинском, где горные работы начинают производиться на глубинах более 500—600 *м*, наблюдаются значительные нарушения крепи выработок еще в период строительства шахт.

Таким образом, проблема повышения устойчивости подготовительных выработок в настоящее время весьма актуальна. Один из путей ее разрешения — разработка рациональных параметров крепи для различных горногеологических и горнотехнических условий. Основными из этих параметров являются: материал крепи, необходимая величина податливости крепи и ее направление, рациональное геометрическое очертание крепи и ее статическая схема, профиль несущих элементов, конструкции узлов податливости. Остановимся на роли этих параметров применительно к подготовительным выработкам, поддерживаемым в зоне влияния очистных работ.

В настоящее время основной конструкцией крепи подготовительных выработок является металлическая арочная трехзвеньевая, изготовляемая из специального шахтного профиля. На долю этой крепи приходится 45,4% закрепленных выработок, а в Донецком и Карагандинском бассейнах, соответственно, 55,2 и 60% [1].

Металл, благодаря своим достоинствам и конструктивным возможностям, является сейчас самым совершенным крепежным материалом. По-видимому и в ближайшем будущем он останется наиболее распространенным материалом для крепления подготовительных выработок.

Для изготовления шахтного спецпрофиля используется углеродистая сталь Ст 5пс, имеющая предел текучести $\sigma_т = 33 \div 35$ *кг/мм*^{2}, предел прочности на растяжение $\sigma_р = 55 \div 57$ *кг/мм*^{2} и относительное удлинение более 19%.

Сравнительно низкое значение предела текучести приводит к тому, что в арочной крепи задолго до возникновения в ее элементах напряжений, равных $\sigma_р$, происходят пластические деформации, ухудшающие податливость крепи и снижающие процент повторного использования металла. Повышение пределов текучести и прочности стали применяемых профилей целесообразно только до определенного предела, так как при критических нагрузках крепь теряет устойчивость независимо от прочности материала. Так, в применяемых для изготовления арочной крепи спецпрофилях возможно повышение прочностных показателей примерно в два раза за счет использования низколегированных сталей с последующей термообработкой. Однако сейчас еще не решены полностью вопросы технологии изготовления крепи из высокопрочных сталей, их стоимость высока, не выявлены рациональные конфигурации

спецпрофиля и т. д. Эти работы в области создания рациональных конструкций крепи являются одними из первоочередных.

Для выработок, имеющих небольшой срок службы, в некоторых случаях эффективным материалом для крепи может быть дерево. На первый взгляд может показаться, что использование дерева в качестве материала для крепи является шагом назад. Однако это будет справедливо лишь в отношении старых конструкций крепи, изготовляемых из сортового леса. Рациональной конструкцией деревянной крепи следует считать такую, в которой продольные силы в элементах направлены вдоль волокон древесины, а изгибающие моменты невелики или полностью отсутствуют. Например, сосна имеет высокий предел прочности на сжатие вдоль волокон (500 *кг/см*^{2}). В существующих же конструкциях деревянной крепи ее элементы работают в основном на изгиб, поэтому их несущая способность невелика.

Для уменьшения расхода сортового дерева необходимо при разработке конструкций крепи ориентироваться на использование его отходов.

С учетом этих положений в 1961 г. в ЛГИ была разработана и испытана в Карагандинском бассейне 12-угольная блочная деревянная крепь, приближающаяся по форме к кольцевой. Рама такой крепи состояла из 12 деревянных блоков, каждый из которых изготовлялся из трех отрезков круглого леса, сшиваемых по торцам досками и гвоздями. В 1969 г. испытывалась такая же конструкция 12- и 18-угольной блочной крепи в Донбассе на глубокой шахте им. XXII съезда КПСС [3]. Для удобства установки этой крепи применялась легкая передвижная опалубка. Рамы крепи устанавливались всплошную. Затраты труда на крепление 1 *м* выработки для блочной деревянной и металлической арочной трехзвеньевой крепи оказались примерно одинаковыми.

Отличительной особенностью крепи этой конструкции является ее высокая несущая способность, достигающая при равномерно распределенной нагрузке 90 *т/м*^{2}, благодаря тому, что несущий материал крепи работает на сжатие при направлении усилий вдоль волокон древесины. Сжимающие усилия в скрепляющих несущие элементы досках направлены поперек волокон. Поскольку предел прочности дерева на сжатие поперек волокон незначителен и составляет около 50 *кг/см*^{2}, при действии нагрузки на крепь происходит деформация досок, достигающая 80% их толщины и более. В связи с этим деревянная блочная крепь обладает большой конструктивной податливостью.

Промышленные испытания крепи в обоих бассейнах проводились в тяжелых горногеологических условиях. Однако на опытных участках более чем за два года службы выработок не производилось никаких ремонтных работ. За это же время на прилегающих к опытному участках выработок, закрепленных металлической арочной трехзвеньевой крепью, неоднократно подрывалась подошва и выработки были почти полностью перекреплены.

Фактическая экономия за два года от применения деревянной блочной крепи на шахте им. XXII съезда КПСС составила 18,6 руб. на 1 *м* выработки. При этом изготовление крепи производилось самым примитивным способом (с помощью ручной пилы и топора), а в качестве основного материала использовался сортовой круглый лес.

Экономическая эффективность от применения этой крепи может быть значительно выше при использовании для ее изготовления отходов дерева, что вполне осуществимо, поскольку блоки имеют небольшую длину (0,8—1 *м*). Изготовление крепи рационально производить на предприятиях по выпуску деревянных конструкций и полуфабрикатов, где в процессе основного производства образуются отходы круглого леса, которые в лучшем случае реализуются по цене дров. Часть из

них могла бы быть использована для блочной крепи. Изготовление блоков может производиться с помощью простых механических устройств, например дисковых пил.

Использование отходов круглого леса и механизация изготовления блочной крепи позволят почти в два раза уменьшить стоимость крепления выработок по сравнению с широко применяемой в настоящее время металлической крепью.

За рубежом в последние годы также ведутся работы по созданию конструкций крепи, в которых максимально используются положительные качества древесины. Так, в очень сложных горногеологических условиях на гор. 950 *м* шахты «Эвалд» (ФРГ) крепление выработок производилось при помощи коротких брусьев или стоек длиной 0,6—0,8 *м*, укладываемых друг на друга [6]. Форму крепи придавали круглую, замкнутую, пространство между крепью и породой заполнялось золо-бетоном (7 : 1), в результате чего достигалось более равномерное распределение нагрузки на крепь по периметру. За девять лет эксплуатации выработки ремонт крепи не производился. Площадь поперечного сечения выработки за этот период уменьшилась на 10—13%, однако никаких разрушений крепи не наблюдалось. Такой сравнительно большой срок службы деревянной крепи был достигнут за счет антисептирования древесины.

Деревянная крепь в этих условиях оказалась экономически выгодной. Расходы на проведение и крепление выработки оказались на 34,6% ниже, чем при использовании бетонитовой или металлической крепи.

Во многих случаях безремонтное поддержание подготовительных выработок может быть обеспечено применением крепи соответствующей податливости, совпадающей с преобладающими смещениями горных пород. При некоторых величинах смещений пород, превышающих критические для данной крепи и выработки, последнюю приходится перекреплять. Дальнейшие смещения боковых пород могут вызвать последующие перекрепления. Таким образом, величина смещений боковых пород в выработке определяет объем ремонтных работ в ней. Анализ затрат на поддержание выработок и сопоставление их с величинами замеренных смещений горных пород показывают, что они находятся примерно в прямой зависимости друг от друга. Следовательно, величина конструктивной податливости крепи должна быть не менее ожидаемых смещений пород, а ее направление — строго совпадать с преобладающими смещениями. К сожалению, последнее условие в большинстве применяемых конструкций крепи не выполняется в связи с тем, что на направление смещений оказывает влияние ряд трудноучитываемых факторов, весьма многообразных даже в одной выработке. Поэтому необходимо создавать такие конструкции крепи, в которых направление податливости могло бы изменяться и устанавливаться в процессе эксплуатации крепи. Этому требованию в некоторой степени удовлетворяет металлическая арочная крепь направленной податливости конструкции ЛГИ [4], которая проходит сейчас промышленные испытания на шахтах Донбасса с крутым и наклонным залеганием пластов. Результаты испытаний показали ее хорошую работоспособность. Так, на шахте им. Ильича в весьма сложных условиях на гор. 710 *м* было обеспечено безремонтное поддержание штрека и получена экономия 62,8 руб. на 1 *м* выработки.

Устойчивость горных выработок в большой степени зависит от формы их поперечного сечения и соответствующего геометрического очертания крепи. Однако зачастую это общеизвестное положение не учитывается при выборе конструкций крепи.

Несущую способность металлической арочной крепи определяют в основном величины изгибающих моментов от действия внешних нагрузок (горного давления), которые, в свою очередь, зависят от распределения последних по контуру крепи и ее геометрического очертания. Распределение нагрузки на крепь обычно характеризуется отношением вертикальных и горизонтальных нагрузок N, которое в каждых конкретных условиях можно считать постоянной величиной. Следовательно, за счет выбора соответствующего геометрического очертания крепи можно устранить изгибающие моменты во всех ее сечениях. В этом случае материал крепи будет испытывать главным образом сжимающие напряжения и ее несущая способность резко увеличится. В частности, при наличии в конструкции крепи двух и более шарниров изгибающие моменты будут равны нулю, если очертание крепи соответствует уравнению

$$\frac{N\left(x-\frac{l}{2}\right)^2}{\frac{Nl}{4}+K^2}+\frac{(y-K)^2}{\frac{Nl^2}{4}+K^2}=1,$$

где $K=\frac{4f^2-Nl^2}{8f}$;

f и l — соответственно высота и ширина выработки; x и y — текущие координаты.

Выражение (1) представляет собой уравнение эллипса со смещенным центром и выведено на основе применяемого в строительной механике метода расчета арок. Правомерность использования этого метода для расчета шахтной крепи доказана авторами путем экспериментальных исследований работы крепи на стенде и в шахтных условиях.

При большом многообразии горногеологических и горнотехнических факторов, влияющих на взаимодействие крепи и окружающих пород, а также при существующей технологии изготовления металлической крепи практически трудно обеспечить точное соответствие ее фактического контура рациональному теоретическому очертанию. Сейчас может быть лишь поставлена задача возможно большего приближения очертания крепи к кривой, определяемой указанным выше выражением, что позволит уменьшить изгибающие моменты в крепи и, следовательно, увеличить ее несущую способность.

Введение в конструкцию крепи шарниров также может существенно увеличить устойчивость выработки. Так, исследования в ЛГИ на эквивалентных материалах показывают, что в бесшарнирных конструкциях крепи коэффициент неравномерности нагрузок достигает 3 и более, в то время как в четырехшарнирных он не выше 1,2. Дальнейшее увеличение числа шарниров незначительно снижает коэффициент неравномерности нагрузок. Шахтные испытания крепи подтверждают результаты лабораторных исследований.

В многочисленных исследованиях последних лет затрагивался вопрос о целесообразной форме поперечного сечения прокатных профилей для шахтной крепи. При этом было выяснено, что используемые в строительной практике основные положения выбора рационального профиля не могут быть полностью применены в горном деле.

При выборе профиля металла для горной крепи большинство исследователей придерживается гипотезы «косого изгиба». В связи с этим для шахтной крепи рациональным следует считать профиль, имеющий равные моменты сопротивлений относительно главных осей.

К такому профилю относится специальный желобчатый профиль, широко применяемый для изготовления элементов металлической крепи в СССР и за рубежом.

На основании аналитических и экспериментальных исследований несущей способности металлической крепи ДонУГИ был предложен новый параметрический ряд взаимозаменяемых профилей семи типоразмеров весом от 12,1 до 33,3 *кг/м* и моментом сопротивления W_x от 30 до 138,5 $см^3$.

Наличие семи типоразмеров спецпрофиля имеет ряд достоинств и недостатков. К числу достоинств следует отнести возможность выбора профиля, соответствующего расчетным параметрам конкретной выработки. Недостатком такого многообразия профилей является сложность их планомерного изготовления на заводах и обеспечения шахт необходимым количеством соответствующих комплектов крепи.

В связи с этим следует считать нецелесообразным применение такого большого числа типоразмеров профилей для крепления горных выработок. Если в практике строительства различных поверхностных сооружений применение большого числа типоразмеров прокатных профилей оправдывается значительными колебаниями пролетов конструкций, различными действующими нагрузками и другими факторами, то размеры горных выработок изменяются в сравнительно небольших пределах. Некоторые изменения параметров крепи конкретной выработки легче в данном случае произвести за счет плотности установки рам, чем за счет применения различных типоразмеров спецпрофиля. Поэтому целесообразно ограничиться применяемыми в настоящее время профилями 17, 22 и 27 *кг/м*.

Наряду с этим следует продолжить дальнейшие исследования возможности и области применения для крепи подготовительных выработок других профилей, в частности двутавра.

В зарубежной практике имеется большой опыт использования арочной крепи из двутавра. В начальный период применения металлической крепи в угольной промышленности СССР также широко использовался двутавр. Однако с появлением спецпрофиля удельный вес выработок с металлической крепью из двутавра постепенно сокращался, и в настоящее время двутавровые профили применяются преимущественно для изготовления верхняков при смешанной крепи, для крепления камер и других выработок с плоским перекрытием.

Одной из основных причин широкого распространения спецпрофиля является наиболее удачное решение податливого соединения элементов. Однако спецпрофиль имеет и существенный недостаток — малую сопротивляемость изгибу относительно оси *X—X*. Так, спецпрофиль СВП-27 имеет момент сопротивления относительно оси *X—X* такой же, как двутавр № 14. При этом вес 1 *м* первого профиля на 60% больше веса второго. Таким образом, при использовании двутавра вместо спецпрофиля для изготовления крепи может быть резко уменьшен расход металла. Однако при этом должны быть решены вопросы податливого соединения элементов крепи и, в случае действия косонаправленного давления, максимально уменьшены напряжения от действия тангенциальной составляющей нагрузки. Последнее может быть выполнено за счет установки распорок между рамами.

Работа крепи подготовительных выработок во многом зависит от конструкции узлов податливости. В применяемой арочной крепи из спецпрофиля податливость ее обеспечивается возможностью скольжения элементов в местах их соединения, после того как внешняя нагрузка превзойдет силы трения.

Узлы податливости такой конструкции обладают рядом недостатков. Так, монтаж крепи производится с помощью скоб, планок и гаек,

при этом затягивание гаек, как правило, производится неравномерно. Кроме того, на величину сил трения в замках влияют обводненность выработки, коррозия металла, угольная пыль и другие факторы. В результате этого нагрузки, при которых начинает проявляться податливость, колеблются в широких пределах и значительно ниже несущей способности жесткой крепи. Очевидно, что наилучшим конструктивным решением будет такое, при котором нагрузка, вызывающая податливость, будет приближаться к несущей способности жесткой крепи. Желательно также для повышения несущей способности крепи, упрощения ее конструкции и технологии возведения, чтобы узел податливости выполнял функции шарнира и монтажного элемента.

На основе этих положений в 1961 г. ЛГИ [5] были разработаны для крепи из спецпрофиля узлы податливости, работающие на принципе среза металлических шпилек, диаметр которых рассчитывается на срез при нагрузке, соответствующей 80—90% несущей способности жесткой крепи. Новой крепью были закреплены выработки общей протяженностью более 5 *км* в различных горногеологических условиях Карагандинского, Донецкого бассейнов и Текелийского свинцово-цинкового месторождения. Наблюдения за крепью на протяжении длительного времени показали, что новые узлы податливости вполне работоспособны и создают благоприятные условия для работы крепи в целом. Для индустриальных методов изготовления новой крепи требуется оснащение заводов некоторым дополнительным несложным оборудованием.

Узлы податливости, работа которых основана на принципе трения, могут быть рекомендованы для случая, если требуется небольшое сопротивление крепи при работе ее в податливом режиме. При этом для обеспечения постоянного сопротивления должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие перекос скоб.

В настоящее время крепление подготовительных выработок на угольных шахтах СССР производится преимущественно незамкнутой крепью. Так, по данным Института горного дела им. А. А. Скочинского [1], в 1969 г. 98% общего объема крепления металлической крепью относится к арочной незамкнутой крепи, а на долю прочих конструкций (в том числе и кольцевых) приходится лишь 2%.

Ряд примеров из практики крепления подготовительных выработок свидетельствует, что, применяя замкнутую крепь, в большинстве случаев можно или предотвратить пучение подошвы или снизить его до величины, дающей возможность не производить подрывки весь срок службы выработки.

При замкнутой крепи требуются дополнительные затраты на проведение и крепление выработок. Однако эти затраты в большинстве случаев в будущем окупаются за счет снижения расходов на поддержание выработок.

Основной конструкцией замкнутой крепи для выработок, проходимых в пучащих породах, является кольцевая из спецпрофиля, существенным недостатком которой, сдерживающим ее широкое применение, являются слишком большой объем работ при сооружении обратного свода и трудность их механизации. При использовании металлической кольцевой крепи с пониженным обратным сводом значительно сокращаются объемы этих наиболее трудоемких работ и, как показала практика [4], создается возможность их механизации.

К недостаткам кольцевой крепи относится также весьма низкий процент извлечения и повторного использования крепи при погашении и ремонте выработок. Нижние элементы кольцевой крепи (лежни) практически повторно не используются. Поэтому в подготовительных выработках, имеющих небольшой срок службы или обводненных, а также при необходимости применять замкнутую крепь с большой кон-

структивной податливостью, рациональной по материалу следует считать смешанную крепь. В этом случае для верхних элементов крепи эффективным материалом будет спецпрофиль, для обратного свода — деревянные блоки.

Область использования замкнутых конструкций крепи в подготовительных выработках должна быть значительно расширена, что позволит в большинстве случаев обеспечить их безремонтное поддержание.

Проблема поддержания подготовительных выработок приобретает особое значение для будущих шахт нового типа, на которых предусматриваются комплексная механизация и автоматизация производственных процессов во всех звеньях технологической цепи, значительное повышение производительности труда и т. п. В этих условиях необходимость безремонтного поддержания подготовительных выработок за весь срок их службы является обязательным условием. Решение этой трудной задачи обеспечит бесперебойную работу очистных забоев, повысит культуру производства и безопасность ведения горных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гелескул М. Н. и др. Справочник по креплению горных выработок. Недра, 1972.
2. Комиссаров М. Н. Некоторые вопросы поддержания подготовительных выработок в условиях пологих пластов Донбасса. В сб. «Вопросы охраны и крепления горных выработок», № 41, Недра, 1968.
3. Смирняков В. В., Ващилин В. А., Остапенко А. Ф. Крепление полевых штреков в сложных условиях глубоких шахт. Уголь Украины, 1971, № 1.
4. Смирняков В. В. и др. Металлическая крепь направленной податливости. Уголь Украины, 1973, № 2.
5. Смирняков В. В., Мирзаев Г. Г. Металлическая крепь с новыми узлами податливости. Изв. вузов. Горн. ж., 1963, № 9.
6. Koch J. «Glückauf», 1960, № 1.