Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.833 + 622.281

ВЛИЯНИЕ ШТАНГОВОЙ КРЕПИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ШТРЕКОВ В МОЩНЫХ ПЛАСТАХ СЛАБОГО УГЛЯ

(исследование на моделях)

О. В. Тимофеев, Ю. Н. Огородников

Штанговую крепь, согласно действующей временной инструкции *, рекомендуется применять лишь в породах крепостью не ниже 3 (по шкале М. М. Протодьяконова).

По предварительным расчетам применение штанговой крепи в штреках, пройденных по мощным угольным пластам, в частности, на гидрошахтах Кузбасса, должно дать значительный технический и экономический эффект. Поскольку коэффициент крепости угля мощных пластов часто не превышает 0,3—0,5, а угольный массив характеризуется значительной трещиноватостью, необходимо было обосновать возможность применения штанговой крепи в сложных условиях **. В связи с этим потребовалось выявить характер деформирования слабого трещиноватого угля вблизи выработок, закрепленных штанговой крепью при различных углах падения пластов.

Наряду с натурным изучением проявлений горного давления на шахтах Прокопьевского района Кузбасса проведены исследования на моделях из эквивалентных материалов в более широком, чем в натуре, круге условий. В задачи моделирования входило изучение характера деформирования пород вокруг выработок, поддерживаемых без крепи и со штанговой крепью, при горизонтальном, наклонном (30°) и крутом (60°) залегании пород. Пять плоских моделей (размер каждой 100 × 60 × 20 *см*), изготовленных из эквивалентных материалов в масштабе 1 : 20, воспроизводили участок мощного пласта размером 20 × 12 × 5 *м* в пересчете на натуру. Для подбора эквивалентного материала принят коэффициент крепости угля 0,3 (30 *кГ/см*^{2}). В качестве эквивалентного материала подобрана смесь песка, слюды и парафина в соотношении 90 : 10 : 2. Такая смесь обеспечивает прочность при сжатии 0,4—1,0 *кГ/см*^{2}, что при указанном масштабе моделирования примерно соответствует прочности угля в массиве с учетом ее снижения на 40—60% за счет трещиноватости.

---

* Временная инструкция по применению штанговой крепи в угольной, горнорудной и сланцевой промышленности строительных материалов, ГОСИНТИ, 1961.

** Работа выполнена по заданию института ВНИИГидроуголь кафедрой строительства горных предприятий Ленинградского горного института под научным руководством Б. В. Бокия.

Модель изготовляли закаткой подогретой смеси слоями толщиной 1 *см*. Трещиноватость имитировали нарезкой слоев через 1,5 *см* в двух направлениях: параллельно оси штрека и под углом 45° к ней. После закатки модель устанавливали под соответствующим углом и в ней проходили две выработки с пролетом вчерне 3,5 *м*, из которых одну оставляли без крепи, вторую крепили штангами. Обычно применяемые при моделировании конструкции штанг с плиткой на глубинном конце устанавливают в модель при закатке. Они исключают возможность перемещения штанг относительно укрепленных пород при смещении контура выработки и поэтому искажают характер работы штанговой крепи. Кроме того, заблаговременная установка штанг вокруг выработок арочной формы при наклонном или крутом залегании слоев пород очень сложна и может привести к неравномерному уплотнению материала модели в зоне расположения штанг.

В опытах применены две модели штанг, установленных после проходки выработок. Первая представляет собой отрезок проволоки диаметром 1 *мм*, установленный в предварительно пробуренную скважину диаметром 2,5—3 *мм* и заполненную раствором из глиноземистого цемента с помощью медицинского шприца и полиэтиленовой трубки диаметром 2 *мм*. При установке штанг после заполнения скважины устье закрывали пластилином, через который вводили стержень с надетой на него металлической опорной плиткой размером 15 × 15 *мм*. Несущая способность такой модели штанг составляла 500—800 *Г*, что соответствует 3—5 *Т* в натуре.

Вторая модель штанги представляет собой отрезок проволоки диаметром 1 *мм*, свитый в виде спирали с наружным диаметром 6 *мм* и шагом витков около 20 *мм*. Такую штангу с надетой на нее опорной плиткой ввинчивают в материал с легким осевым нажатием до упора плитки. Несущая способность такой модели штанг достигала 1500 *Г*, что соответствует 8—10 *Т* в натуре. Установка этих штанг проще, чем первых.

После проходки выработок и крепления одной из них лицевую сторону модели закрывали опалубкой из прозрачного органического стекла, а тыльную — из дерева. Затем модель, с предварительно установленными на ней марками, фотографировали на пластинку размером 13 × 18 *см* и постепенно пригружали. Нагрузку ступенями увеличивали до момента обрушения закрепленной штангами выработки, модель регулярно фотографировали. Последующая обработка пластинок на компараторе позволяла определить смещение различных точек модели по маркам.

На моделях I и II изучали устойчивость слоистой трещиноватой кровли выработки прямоугольного сечения при горизонтальном залегании слоев и устойчивых породах в боках выработки. Развитие деформаций в кровле рассмотрим на примере модели II.

Левая выработка на модели пройдена без крепи, правая закреплена четырьмя рядами штанг первого типа с расстоянием между штангами в ряду 0,9 *м* и между рядами 1,25 *м* (здесь и в дальнейшем числовые данные пересчитаны на натуру).

Первоначальная нагрузка модели имитировала глубину 50 *м*. Прогиб кровли в обеих выработках составил при этом 35—40 *мм*. После выдержки модели при этой нагрузке в течение 2 *ч* в незакрепленной выработке прогиб кровли достиг 80 *мм*, и нижние слои кровли мощностью до 0,75 *м* обрушились (рис. 1, *а*), в то время как закрепленная штангами выработка сохраняла устойчивость (рис. 1, *б*). Увеличение пригрузки (глубина 90 *м*) сопровождалось постепенным развитием обрушения в кровле незакрепленной выработки (рис. 1, *в*) и увеличением прогиба в закрепленной (рис. 1, *г*). Прогиб скрепленной штангами толщи слоев кровли сопровождался обра-

зованием трещин в кровле над верхними углами выработки и мелкими сколами материала в боках выработки.

Максимальный относительный прогиб, т. е. отношение стрелы прогиба к пролету выработки, соответствующий моменту обрушения кровли, составлял 0,245 в незакрепленной выработке и 0,468 в закрепленной. Это бесспорно свидетельствует о значительном повышении устойчивости кровли, укрепленной штангами.

Обрушение кровли в закрепленной выработке вызвано искусственно сотрясением модели. Вывал при этом имел форму, близкую к сводчатой.

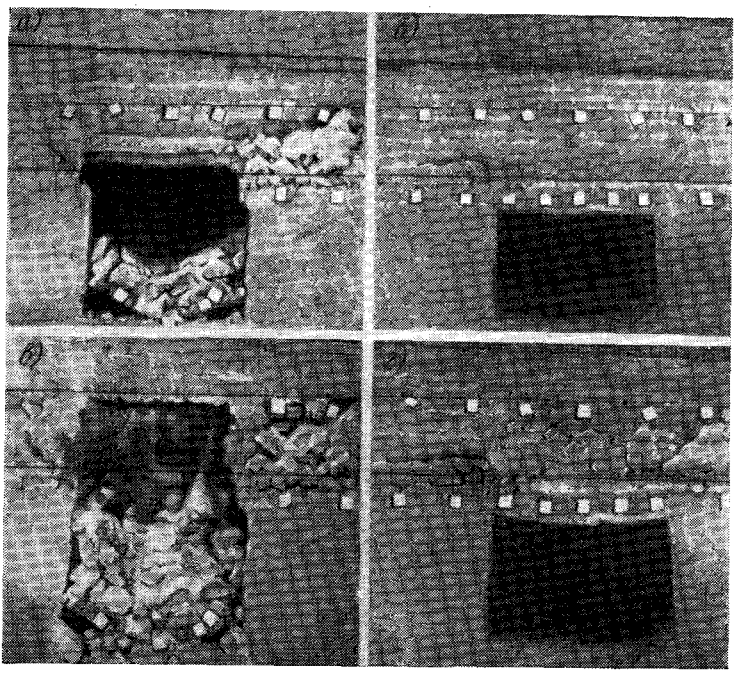


Рис. 1. Деформирование кровли незакрепленной *а*, *в* и закрепленной *б*, *г* выработок в модели II.

Мощность обрушившихся пород в 1,5 раза превышает длину штанг. Очевидно, материал выше укрепленных штангами слоев был разрушен и сохранял устойчивость только благодаря поддержке заштангованных слоев, которые выполняли функции несущей конструкции.

Полученные результаты использованы нами наряду с другими материалами для обоснования схемы расчета параметров штанговой крепи в подобных условиях * [Семевский и др., 1965].

Устойчивость выработок прямоугольного сечения при слоистых трещиноватых породах с углом падения 30° изучали на модели III, в которой пройдены две одинаковые выработки. Одна из них оставлена без крепи, кровля другой закреплена штангами первого типа по такой же схеме, что и в модели II. При сверлении скважин в кровле выработки вследствие трещиноватости и наклонного залегания слоев образовались мелкие вывалы и кровля в результате этого приобрела ступенчатую форму.

* В. Н. Семевский и др. Штанговая крепь. Недра, 1965.

При нагружении модели в боках выработок образовались трещины, а затем и вывалы. Это привело к обрушению кровли в обеих выработках. Вывалы приобрели форму, близкую к сводчатой.

Отработка модели III показала, что установка штанг только в кровле штрека прямоугольного сечения при трещиноватом угле и наклонном залегании пласта практически не повысила устойчивости выработки. Образование трещин и вывалов в боках, особенно со стороны падения пород, привело к увеличению пролета выработки, обрушению кровли и образованию вывала сводчатой формы. Следовательно, при проведении штре-

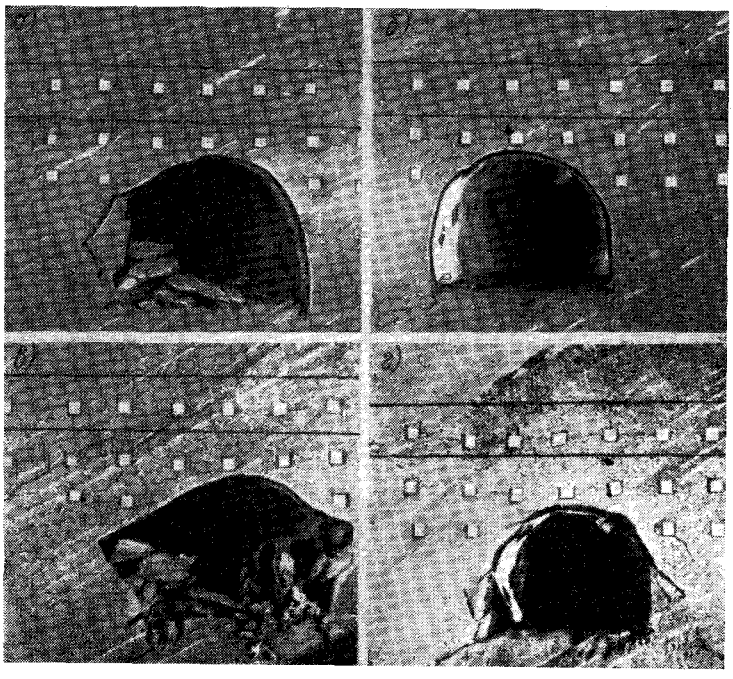


Рис. 2. Деформации пород вокруг незакрепленной *а*, *в* и закрепленной *б*, *г* выработок в модели IV.

ков в аналогичных условиях штангами должна закрепляться не только кровля, но и бока, а поперечному сечению выработки целесообразно придавать сводчатую форму.

Исходя из изложенного выше в модели IV выработкам придали сводчатую форму поперечного сечения с пролетом 3,5 *м* вчерне. Угол падения пласта 30°, т. е. тот же, что и в модели III. Левая выработка оставлена без крепи, правая закреплена четырьмя рядами штанг второго типа (винтовыми) по пять штанг в ряду. Для предотвращения мелких вывалов на контуре выработки штанги устанавливали со сплошной «затяжкой» из плотной бумаги.

При нагружении модели (глубина 50 *м*) в боках выработок развивалась характерная для наклонного падения трещиноватость, которая при дальнейшем увеличении нагрузки (глубина 90 *м*) привела к обрушению материала в незакрепленной выработке со стороны падения пород (рис. 2, *а*). Аналогичные трещины образовались и в закрепленной выработке, но вывалов благодаря штангам не было (рис. 2, *б*). Кровля обеих выработок заметных нарушений не имела. При дальнейшем росте пригрузки на

модель (глубина 120 *м*) разрушение материала в боках выработки увеличивалось, особенно со стороны падения пород (рис. 2, *в*). Закрепленная выработка сохраняла устойчивость, хотя массив вокруг нее был разбит трещинами (рис. 2, *г*), а высота выработки уменьшилась на 60 *см* в пересчете на натуру. Основные трещины в боках обеих выработок направлены под углом 40—45° к вертикали. В боку выработки со стороны падения пород трещины направлены от подошвы выработки к кровле пласта, а в другом боку — от свода к почве пласта.

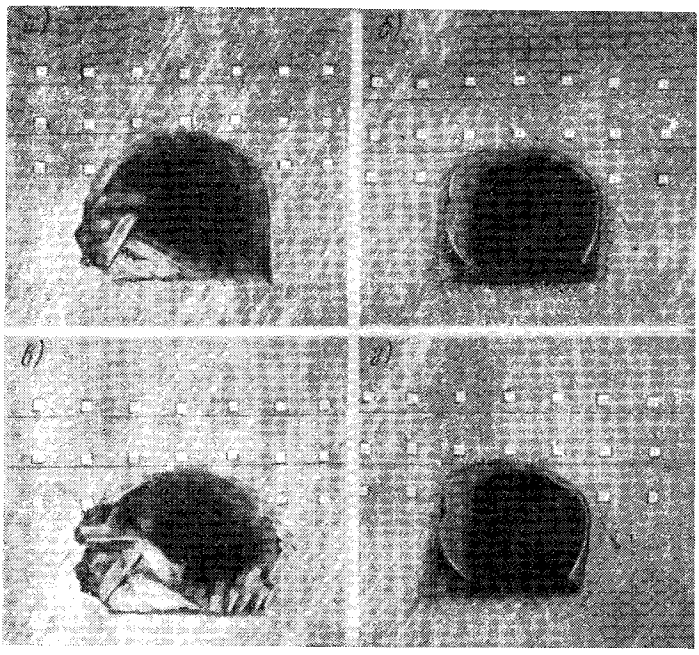


Рис. 3. Деформации пород вокруг незакрепленной *а*, *в* и закрепленной *б*, *г* выработок в модели V.

Отработка модели IV показала, что установка штанг в кровле и боках штрека при наклонном залегании пласта существенно повышает устойчивость пород в закрепленной выработке, по сравнению с незакрепленной, хотя общий характер развития трещин в обоих случаях аналогичен. Разрушение пород в первую очередь отмечено в боках выработок. В породе вокруг закрепленной выработки развивались трещины, смещался контур, но обрушения пород не происходило.

Для изучения устойчивости выработок сводчатой формы при угле падения пласта 60° изготовлена модель V, в которой левая выработка, как и в других моделях, оставлена без крепи, а правая закреплена четырьмя рядами штанг второго типа по пять штанг в ряду с затяжкой из плотной бумаги. По сравнению с моделью IV нижние боковые штанги установлены выше на 40 *см* (расстояние от подошвы выработки 1,3 *м*).

При нагрузке на модель в боках незакрепленной и закрепленной выработок трещины появились почти одновременно, что можно отчасти объяснить сравнительно большим расстоянием от подошвы выработки до нижних боковых штанг. При дальнейшем нагружении модели в боку незакрепленной выработки со стороны висячего бока пласта образовался вывал, а в закрепленной выработке, несмотря на наличие трещин, порода

не обрушалась (рис. 3, *а*, *б*). При последующем увеличении пригрузки модели в незакрепленной выработке происходили вывалы в обеих ее боках (рис. 3, *в*), а в закрепленной — отмечено существенное смещение контура выработки без обрушений (рис. 3, *г*). Установленные штанги препятствовали смещению контура выработки сравнительно незначительно, но вполне обеспечили устойчивость пород вокруг выработки даже после интенсивного развития трещин в боках. Вследствие уменьшения поперечного сечения выработки затяжка в промежутках между штангами в ряде мест была собрана в складки. Наибольшие смещения пород вблизи контура выработки отмечены в направлении линии, отклоненной на 45—50° от вертикали в сторону кровли пласта.

Характер деформирования пород вокруг выработки на моделях V и IV в основном аналогичен.

Выводы

1. В штреках, пройденных по трещиноватым слабым породам ($f = 0{,}3 \div 0{,}5$ по шкале Протодьяконова) при наклонном и крутом их залегании, разрушение пород вблизи контура незакрепленной выработки начинается прежде всего в ее боках. Это особенно четко проявляется при сводчатой форме поперечного сечения. Применение штанговой крепи в таких условиях существенно увеличивает устойчивость выработок лишь при установке штанг не только в кровле, но и в боках.

2. При неустойчивых породах в боках наиболее целесообразно поперечное сечение выработки подковообразной формы. Для предотвращения местных вывалов породы в промежутках между штангами необходимо применение сплошной затяжки и подхватов. Учитывая, что штанговая крепь обладает значительной податливостью и допускает уменьшение поперечного сечения выработки на 15—20%, необходима конструкция подхватов, допускающая некоторое их смещение относительно штанг при сокращении периметра выработки.

3. Образующийся в результате обрушения пород в незакрепленных или закрепленных выработках вывал имеет форму, близкую к сводчатой, причем вершина условного свода отклонена от вертикали в сторону висячего бока пласта. Учитывая податливый режим работы штанговой крепи, нагрузку на крепь или на укрепленную штангами зону пород можно определять с достаточным приближением по одной из гипотез свода (например, Цимбаревича). Начальное сечение штрека при этом следует проектировать с запасом на 10—15%.

4. Штанговая крепь, не исключая развития трещиноватости и смещений пород вблизи контура выработки, в состоянии обеспечить вполне удовлетворительное поддержание штреков, пройденных в трещиноватых слабых породах.

Шахтные наблюдения на ряде опытных участков подтвердили основные выводы моделирования. Результаты экспериментов на моделях и материалы шахтных исследований послужили основой для составления методики расчета параметров штанговой крепи и паспортов крепления штреков на гидрошахтах Прокопьевского района Кузбасса.