Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 1, 1963 г.

УДК 622.272 . 622.234.5

К УПРАВЛЕНИЮ ПЕРЕКРЫТИЯМИ ПРИ ПОДЭТАЖНОЙ ГИДРООТБОЙКЕ

Г. И. Швецов

Для уменьшения потерь угля при гидравлической разработке мощных крутопадающих пластов системой подэтажной гидроотбойки при-

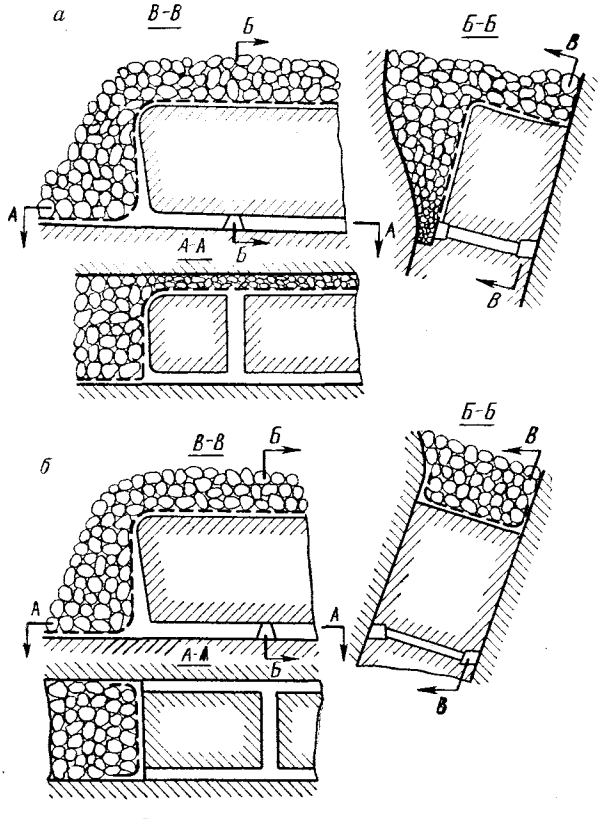


Рис. 1. Разработка с ограждением подэтажа:
а — трехсторонним; *б* — двусторонним

меняются гибкие металлические перекрытия, отделяющие уголь от обрушенной породы и, наряду с полнотой извлечения, позволяющие вести выемку угля при отсутствии крепи в очистном пространстве.

Известны два варианта применения гибкого перекрытия: с ограждением пласта с трех сторон (рис. 1, *а*) и с двух сторон (рис. 1, *б*). Пер-

вый вариант сопряжен с необходимостью трудоемких работ по выемке монтажного слоя у кровли пласта и настилке перекрытия, что снижает эффективность разработки. Этот вариант экономически выгоден только на очень мощных пластах и нецелесообразен на пластах мощностью 4—8 *м*. В этих условиях применим второй вариант, лишенный отмеченного недостатка. Однако он имеет сложное управление перекрытием. Под влиянием собственного веса и обрушающихся пород перекрытие может сползать к лежачему боку пласта, а со стороны висячего порода может прорываться в очистное пространство.

Для создания эффективного способа управления перекрытием необходимо выявить закономерность перемещения обрушающейся в процессе отработки пласта породы и взаимодействие ее со шлейфом [1] перекрытия. В процессе отработки подэтажа вслед за перекрытием перемещается обрушившаяся порода. Однако скорость движения ее отдельных кусков в разных местах выработанного пространства неодинакова: куски, расположенные ближе к кровле, движутся с большей скоростью, чем куски со стороны почвы, так как в результате наклонного залегания пласта трение породы о почву больше, чем о кровлю, и эта разница увеличивается с уменьшением угла падения. Ввиду большего трения о почву пласта куски породы у лежачего бока отстают от общего движения перекрытия и остальной породы. Между ними возникает свободное пространство, куда устремляются куски, расположенные выше по вертикали. Куски породы, расположенные непосредственно у почвы пласта, которая служит своего рода направляющей, перемещаются вниз параллельно ей. Куски, расположенные выше, находятся под действием с одной стороны собственного веса и давления вышележащих кусков, направленных вниз, а с другой — кусков породы, расположенных ближе к почве пласта и перемещающихся по падению. Таким образом, траектория перемещения кусков, расположенных внутри массива, тем ближе приближается к вертикали, чем дальше расположен кусок от почвы. Куски породы, расположенные у кровли пласта, также стремятся перемещаться по вертикали вниз. При этом непосредственно у кровли возникает зона *разрежения*, куда устремляются куски, расположенные выше.

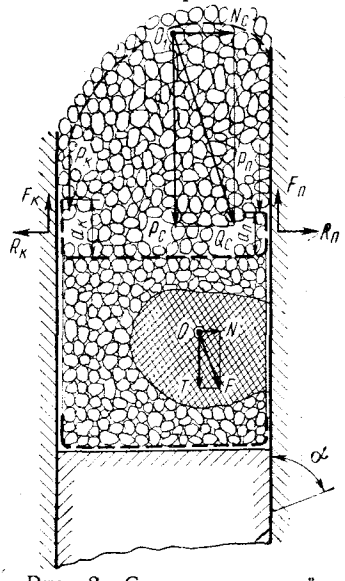


Рис. 2. Схема взаимодействия породы со шлейфом перекрытия:

α — угол падения пласта; F — сила взаимодействия породы со шлейфом; N, T — составляющие силы F; $F_п$ и $F_к$ — силы трения манжет соответственно о почву и кровлю пласта; $R_п$ и $R_к$ — силы бокового распора у почвы и кровли; $a_п$ и $a_к$ — ширина манжет у почвы и кровли; $P_к$ и $P_п$ — давление сыпучей породы на перекрытие у кровли и почвы пласта; Q_c — сосредоточенное давление сыпучей породы на перекрытие; P_c, N_c — составляющие Q_c

Таким образом, основная масса породы, расположенная между почвой и кровлей пласта и имеющая контакт с поверхностью шлейфа, перемещается в направлении, близком к вертикальному. В результате действия сил бокового распора между шлейфом и перемещающейся породой возникают силы, действующие также в направлении, близком к вертикальному, и смещающие шлейф в сторону почвы пласта (рис. 2).

[1] Под шлейфом понимается часть перекрытия, свисающая вдоль забоя.

Суммарная величина составляющей N, под влиянием которой шлейф стремится переместиться к почве пласта, возрастает с увеличением высоты подэтажа. Поскольку составляющая есть результат трения породы о шлейф, то, очевидно, величина ее также определяется значением коэффициента трения, т. е. состоянием поверхности шлейфа. При гладкой поверхности эта величина минимальна.

При благоприятных условиях можно лишь частично уменьшить нагрузку на гибкое перекрытие, которая даже в наиболее благоприятных случаях будет велика. Очевидно, величина силы N определяется углом падения пласта и увеличивается с его уменьшением. Из анализа закономерностей перемещения породы следует, что надежное управление гибким перекрытием возможно лишь при активном сопротивлении

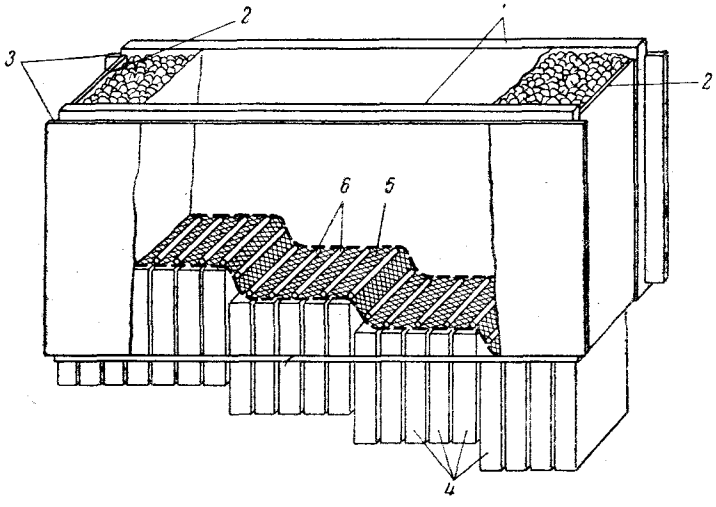


Рис. 3. Конструкция модели

перекрытия составляющей силе N. Обычные гибкие перекрытия — гибкие во всех направлениях — не могут противодействовать ей, поэтому обеспечить надежное управление ими невозможно. Об этом свидетельствуют специально поставленные исследования на моделях и шахтные наблюдения. Чтобы добиться управления перекрытием, необходимы новые конструкции, способные активно противодействовать сдвигающей силе N. Такими конструкциями могут быть полужесткие перекрытия — жесткие в поперечном направлении и гибкие в продольном. Поперечная жесткость достигается укладкой жестких элементов в виде бревен, металлических или бетонных балок, расположенных по направлению действия сдвигающей силы N и обеспечивающих сопротивление последней.

Возможность разработки мощных крутопадающих пластов с применением такого рода перекрытий исследована на моделях (рис. 3) в Ленинградском горном институте. Имитировалась разработка пласта мощностью 8 *м* с углом падения 60, 50 и 45° в масштабе 1 : 50. Модель — ящик без дна — состояла из рамы *1*, деревянных торцовых *2* и стеклянных боковых *3* стенок. Заходки имитировались деревянными брусьями *4*, длиной несколько большей суммарной высоты трех подэтажей. На брусья настилалось полужесткое перекрытие *5* — полоса холста шириной, равной мощности пласта. Жесткость перекрытия в поперечном направлении достигалась укладкой на него деревянных стержней *6*. На перекрытие загружалась порода с размером кусков 0,25—1,25 *м*. Отрабатывались три подэтажа высотой по 6 *м* каждый. Ширина заходки 4 *м*, опережение забоев 20 *м*. Отработка заходок имитировалась

опусканием брусков *4* на высоту одного подэтажа. Характер перемещения перекрытия и породы наблюдался через стеклянные стенки.

В процессе наблюдений установлено, что, несмотря на малые углы падения, перемещение перекрытия вслед за забоем происходит без отклонения от нормального положения на всем протяжении разработки. Следовательно, полужесткие перекрытия хорошо управляемы и пригодны для разработки мощных крутопадающих пластов при двустороннем ограждении подэтажей.

Одна из известных конструкций полужесткого перекрытия (рис. 4) состоит из ряда бревен *1*, соединенных металлическими стержнями или канатами *2*, которые пропущены через отверстия в бревнах *3*. Прочность перекрытия в продольном направлении обеспечивается стержнями или канатами, а в поперечном — балками. Толщина стержней (канатов), расстояние между ними и диаметр бревен выбирается в зависимости от мощности пласта с учетом обеспечения требуемой прочности. Для исключения просыпания мелкой породы в забой балки перекрываются проволочной сеткой *4*. Со стороны лежачего бока к перекрытию прикрепляются опорные башмаки *5*, предназначенные для увеличения поверхности опоры перекрытия на почве пласта, что уменьшает удельное давление на почву и облегчает перемещение перекрытия. Чтобы исключить просыпание породы, на контактах перекрытия с висячим и лежачим боками пласта, предусматриваются манжеты *6* — края проволочной сетки, завернутые на почву и кровлю. Манжеты позволяют также отрабатывать пласты с незначительным изменением мощности и оказывают существенное влияние на характер перемещения полужесткого перекрытия. Породой они прижаты к висячему и лежачему бокам пласта и вызывают при перемещении перекрытия со стороны кровли и почвы силы трения $F_к$ и $F_п$ (см. рис. 2), препятствующие опусканию перекрытия и определяющие характер опускания. Для нормальной работы необходимо соблюдение условий: $F_к = F_п$ и $P_с > F_к + F_п$. Иначе в первом случае произойдет перекос перекрытия, а во втором — его зависание на манжетах.

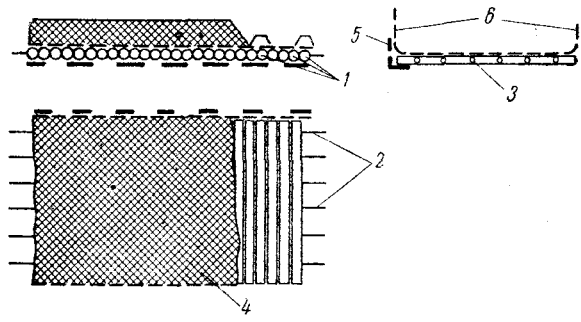


Рис. 4. Схематическая конструкция полужесткого перекрытия

Силы $F_к$ и $F_п$ определяются силами бокового распора $R_к$ и $R_п$ породы, которые зависят от величины давления сыпучей породы на перекрытие у кровли $P_к$ и почвы $P_п$ пласта, и размерами манжет $a_к$ и $a_п$.

При $\alpha = 90°$ эпюра давления на перекрытие имеет симметричную форму. Это обусловливает равенство $P_к$ и $P_п$ и одинаковый боковой распор у лежачего и висячего боков. Поэтому условие $F_к = F_п$ будет обеспечиваться при $a_к = a_п$.

При $\alpha < 90°$ эпюра давления имеет несимметричную форму, и эта несимметричность увеличивается с уменьшением α. Поэтому $P_п > P_к$, и сила бокового распора у почвы пласта станет больше, чем у кровли. Кроме того, манжета к почве пласта будет прижиматься силой $N_с$ — составляющей сосредоточенного давления пород $Q_с$. В результате удельное давление на манжету у почвы пласта будет больше, чем у кровли. Отсюда, естественно, при равенстве манжет сила $F_п$ окажется больше силы $F_к$, что приведет к отклонению перекрытия в сторону лежачего бока.

Следовательно, ширина манжеты у почвы должна быть меньше на величину, обеспечивающую $F_к = F_п$. Абсолютные же величины манжет $a_к$ и $a_п$ должны быть такими, чтобы удовлетворилось условие $P_с > F_к + F_п$. С учетом последних замечаний выведены формулы для определения величины манжет у почвы $a_п$ и кровли $a_к$ пласта, удовлетворяющие двум рассмотренным условиям:

$$a_к \leqslant \frac{90m\left[\frac{2}{3} + \frac{\alpha}{180}\left(1 - \frac{\alpha}{180}\right)\right]}{\xi_q f_к \alpha \left(2 - \frac{\alpha}{180}\right)}; \qquad (1)$$

$$a_п \leqslant \frac{m(1 - 2f_п \operatorname{ctg} \alpha)}{2\xi_q f_п \left(1 - \frac{\alpha^2}{180^2}\right)} \left[\frac{2}{3} + \frac{\alpha}{180}\left(1 - \frac{\alpha}{180}\right)\right], \qquad (2)$$

где m — мощность пласта, *м*;

ξ_q — коэффициент бокового распора породы при движении [1];

$f_к$ и $f_п$ — коэффициенты трения манжет соответственно о кровлю и почву пласта;

90 и 180 — абсолютные числа градусов.

Как видно, ширина манжет не зависит от величины закладочного массива, а определяется мощностью пласта m, углом падения α, коэффициентом бокового распора ξ_q и коэффициентами трения $f_п$ и $f_к$ манжет о боковые породы. Знак равенства в формулах (1) и (2) соответствует предельной величине манжет, выше которой не исключено зависание перекрытия; знак «меньше» соответствует рабочей ширине манжеты.

При расчете может оказаться, что вычисленные величины манжет будут намного больше технически необходимых. Поэтому следует $a_к$ вычислять по формуле (1) и принимать технически возможную ее величину, а ширину $a_п$ определять из отношения

$$a_п = \gamma_i a_к, \qquad (3)$$

где γ_i — коэффициент пропорциональности,

$$\gamma_i = \frac{f_к \alpha (1 - 2f_п \operatorname{ctg} \alpha)\left(2 - \frac{\alpha}{180}\right)}{180 f_п \left(1 - \frac{\alpha}{180}\right)}.$$

Пример. Определить ширину манжет $a_п$ и $a_к$, если

$$f_к = f_п = 0{,}7; \quad m = 7 \text{ м}; \quad \xi_q = 0{,}6; \quad \alpha = 70°.$$

По формуле (1)

$$a_к = \frac{90 \cdot 7\left[\frac{2}{3} + \frac{70}{180}\left(1 - \frac{70}{180}\right)\right]}{0{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot 70\left(2 - \frac{70}{180}\right)} = 12 \text{ м}.$$

Принимаем $a_к = 2{,}5$ *м*. Тогда

$$\gamma_i = \frac{0{,}7 \cdot 70(1 - 2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}36)\left(2 - \frac{70}{180}\right)}{180 \cdot 0{,}7\left(1 - \frac{70}{180}\right)} = 0{,}42,$$

а

$$a_п = 0{,}42 \cdot 2{,}5 = 1{,}05 \text{ м}.$$

[1] Экспериментальные данные о значении ξ_q см. в настоящем сборнике: Р. Э. Юдин. «Изменение бокового давления в зависимости от состояния сыпучего тела».

Влияние ширины манжет на управление перекрытием проверялось на аналогичной модели (рис. 3). Имитировалась отработка пласта мощностью 8 *м* в масштабе 1 : 25. Вынимались три подэтажа для углов падения 70, 90, 50°. Вначале ширина манжет с обеих сторон была по 3 *м*. При $\alpha = 90°$ отработка пласта прошла нормально. С изменением угла с 90 до 70° на тридцатом метре второго подэтажа наметилась тенденция перекрытия к отставанию со стороны висячего бока. После этого манжета у почвы была уменьшена до 1,4 *м*, что позволило отработать весь пласт. Затем угол падения был уменьшен до 50° при ширине манжеты у кровли 3 *м*, у почвы 1,4 *м*. В конце отработки второго подэтажа также наблюдалась ненормальная работа перекрытия. Изменение ширины манжеты у почвы с 1,4 до 0,4 *м* обеспечило отработку всех подэтажей.

Итак, манжеты можно использовать для облегчения управления перекрытием.

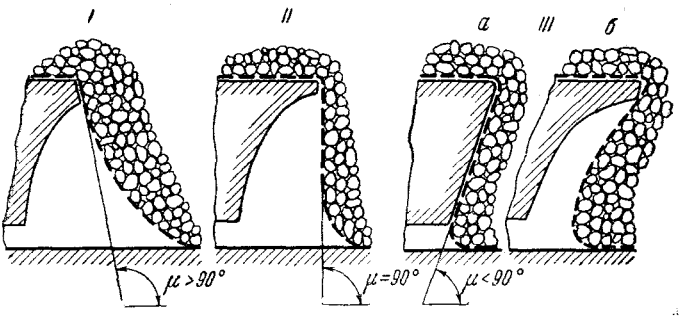


Рис. 5. Варианты расположения шлейфа перекрытия

Существенное влияние на характер перемещения перекрытия оказывает состояние поверхностей висячего и лежачего бока. В шахтных условиях они могут иметь неровную поверхность. В результате куски породы заклинят манжеты в углублениях, что даже при правильно выбранных параметрах приведет к нарушению нормального режима работы. Поэтому манжеты целесообразно делать жесткими, присоединяя их к перекрытию гибкими связями.

На управление перекрытием и его прочность влияет расположение шлейфа относительно горизонтальной поверхности. Наиболее неблагоприятный из трех, приведенных на рис. 5, вариант *I*, при котором пролет провисания перекрытия наибольший, что определяет большие напряжения в его элементах. При варианте *II* этот недостаток сказывается меньше. В варианте *III* перекрытие испытывает наименьшие напряжения.

В начальной стадии выемки заходки шлейф, соприкасаясь с поверхностью забоя, выполняет роль прокладки и испытывает минимальные напряжения (рис. 5, *IIIа*). В процессе отработки заходки (*IIIб*) между шлейфом и забоем образуется свободное пространство. В результате напряжение в перекрытии будет возрастать. Однако оно будет меньше, чем при вариантах *I* и *II*. Таким образом, необходимо стремиться располагать шлейф под углом $\mu < 90°$.

Возможность отработки подэтажа с таким расположением шлейфа исследовалась на моделях. Установлено, что такое положение шлейфа сохраняется при гладкой поверхности почвы подэтажа. В этом случае на почве укладывается столько перекрытия, сколько перепускается с кровли. В шахтных условиях поверхность почвы подэтажа неровная из-за неполного смыва отбитого угля. Соответственно укладываться перекрытия будет больше, чем перепускаться. В результате шлейф будет вытягиваться и займет положение, приведенное на рис. 5, *I*. Во из-

бежание этого при монтаже перекрытия его следует укладывать на 15—20% *больше длины монтажной площадки.*

Нормальная эксплуатация перекрытия во многом зависит от метода управления им. Для исключения излишних напряжений в элементах перекрытия выемка угля в верхней части заходки должна производиться равномерно по мощности пласта. Для этого выемку заходки целесообразно производить в восходящем порядке с оставлением верхней части козырька, который под действием давления пород обрушался бы одновременно по всей мощности пласта небольшими участками в направлении простирания, обеспечивая плавное опускание перекрытия.

Выводы

1. Так как существующие гибкие перекрытия неуправляемы, использование их при подэтажной гидроотбойке с двусторонним ограждением подэтажа невозможно. Нормальная работа в этих условиях обеспечивается полужестким перекрытием — жестким в поперечном и гибким в продольном направлениях.

2. Манжеты оказывают существенное влияние на управление перекрытием. Рассчитать манжеты можно по формулам (1), (3), которые обеспечивают нормальное перемещение перекрытия.

3. Для уменьшения напряжений в элементах перекрытия шлейф необходимо располагать с наклоном к выработанному пространству. Стабильность такого положения шлейфа в процессе работы обеспечивается при настилке перекрытия больше длины монтажной площадки на 15—20%.