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

УДК 622.831

ПОВЕДЕНИЕ ПОРОД КРОВЛИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, ЗАЛЕГАЮЩИХ ПОД ИЗВЕРЖЕННЫМИ ПОРОДАМИ

В. Г. Кошомкин

Майхинское буроугольное месторождение (в южной части Приморского края) представляет собой свиту из 20 пологих пластов, из которых 7 имеют рабочую мощность 1,3—15 *м*. Угол падения пластов 2—10°. Пласты залегают на глубине 30—350 *м*. Вмещающими породами являются аргиллиты, алевролиты и мокрые песчаники. В верхней части угленосной толщи повсеместно залегают подбазальтовые конгломераты.

Свыше 70% площади месторождения покрыто излившимися на поверхность изверженными породами (базальтами и андезито-базальтами), местами достигающими мощности 200 *м*.

Опыт разработки угольных пластов, залегающих под изверженными породами невелик, и поведение этих пород при очистной выемке требует тщательного изучения. Более или менее значительную практику управления кровлей, состоящей из прочных осадочных пород, нельзя использовать полностью, так как между крепкими осадочными и изверженными породами имеется ряд существенных отличий, являющихся следствием их генезиса. Осадочные породы (известняки и песчаники) как бы ни были монолитны визуально в действительности имеют слоистую структуру и обрушаются (например, при управлении кровлей полным обрушением), как правило, отдельными слоями или группами слоев. Изверженные породы лишены слоистости, но в свою очередь обладают пористостью и трещиноватостью (особенно эффузивные), связанной с процессами застывания магмы и выветривания. Поэтому изверженные породы при подработке способны обрушаться блоками большой мощности, вследствие чего можно ожидать усиленного давления на крепь очистных выработок. Так, на шахтах Норильска случались завалы лав при осадке кровли, состоящей из песчаников и эффузивных пород (диабазов и габбро-диабазов) мощностью 37—172 *м*.

В лаборатории Ленинградского горного института имитировали специфические условия намечаемого к разработке Майхинского месторождения, изучали управление кровлей и связанной с ним технологии очистных работ.

Исследования проведены на моделях из эквивалентных материалов на плоских стендах размером 240 × 18 *см*, что в натуре (в масштабе 1 : 200) соответствовало рабочему участку 400 × 36 *м* и воспроизводило

среднюю часть длинной лавы, где крепь испытывает наибольшие нагрузки. Поскольку базальтовая магма изливалась отдельными потоками мощностью 10—15 *м*, исследования проводили при базальтовом покрове мощностью 10, 30 и 50 *м* (т. е. для условий совместного обрушения одного-трех слоев) в расчете на получение промежуточных данных интерполяцией.

На моделях имитировали отработку длинными забоями (лавами) пластов I, III_1 и IV мощностью 3; 1,3 и 8,5 *м*, залегающих соответственно в 18, 60 и 115—120 *м* под эффузивными породами с тем, чтобы определить влияние размеров промежуточной толщи осадочных пород и мощности пластов на характер сдвижения изверженных пород. При этом мощный пласт IV отрабатывали двумя слоями в нисходящем порядке: сначала вынимали верхний слой мощностью 2,5 *м*, затем с отставанием на 100—400 *м* — нижний слой мощностью 6 *м*.

Управление кровлей при отработке моделей принято полным обрушением. Часть моделей отрабатывали при отсутствии крепи призабойного пространства с целью выявления характера свободного обрушения пород. Другую часть моделей отрабатывали при наличии крепи в очистном пространстве с целью выяснения ожидаемых нагрузок на крепь при обрушении базальтов и определения влияния ее на характер обрушения изверженных пород (мощность базальтовой толщи в этих моделях принята равной 10—30 *м*).

Прочностные характеристики угля и пород заимствованы из данных испытаний, проведенных в лаборатории строительных материалов Дальневосточного политехнического института. Эквивалентные материалы (песчано-парафиновые смеси) с характеристиками, соответствующими рассматриваемым породам, подобраны в лаборатории горного давления по методике ВНИМИ [Кузнецов и др., 1959].

При отработке моделей характер обрушения покрывающих пород фиксировали фотографированием. Влияние на распределение опорного давления величины пролета выработанного пространства до первого обрушения базальтов определяли посредством жидкостных датчиков, опускания базальтовой толщи при ее подработке замерялись индикаторами часового типа. Давление на крепь определялось с помощью динамометрической крепи.

Исследования показали, что шаг обрушения осадочных пород зависит от мощности изверженных лишь в тех случаях, когда их обрушение совпадает с осадкой базальтов. Углы обрушения осадочных пород составляют с горизонтом 65—75°. Обрушение их происходит в виде блоков формы косоугольных параллелепипедов и не обеспечивает подбучивания базальтов (между обрушенными осадочными породами и зависшими изверженными существовало свободное пространство h_c, почти равное вынимаемой мощности пласта m). Поэтому подработанная базальтовая толща зависает на большом протяжении, размер которого зависит от мощности изверженных пород. По мере подвигания очистного забоя и обрушения осадочных пород свободный пролет базальтов увеличивается, в средней его части снизу появляется трещина, которая развивается вглубь с увеличением пролета и в конце концов пересекает базальтовую толщу на всю мощность. После этого над задним целиком и забоем в базальтах появляются трещины, раскрывающиеся в стороны целиков под углом к горизонту δ, равным 87—88°. В результате развития такой трещиноватости базальты обрушаются в виде двух блоков неодинаковых размеров: передний блок (по направлению подвигания забоя) значительно больше заднего (рис. 1). Так, при мощности базальтов $h_б = 10$ *м* длина заднего блока по простиранию $L_п = 41$ *м*, а переднего 54 *м*, при $h_б = 30$ *м* раз-

меры блоков равны 56 и 92 *м*, а при базальтах мощностью 50 *м* размеры блоков составляли, соответственно, 86 и 128 *м**.

Обрушившуюся базальтовую толщу можно представить в виде трехшарнирной арки длиной L_{III} с шарнирной связью в средней части аркибалки и у ограничивающих ее целиков. В средней части балки (см. рис. 1,

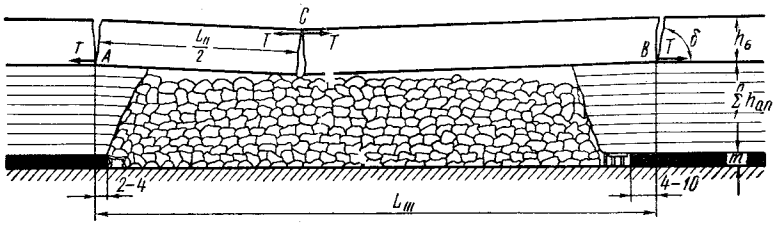


Рис. 1. Первое обрушение базальтов.

точка *C*) возникает сильный горизонтальный распор *T*, который иногда сопровождается выдавливанием части базальтов в виде трехгранной призмы, в свою очередь, раздробленной на более мелкие призмочки и куски

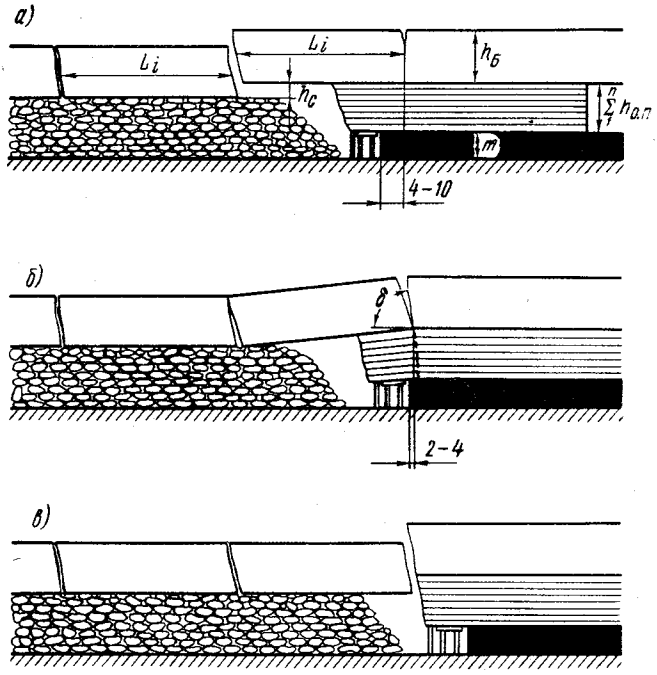


Рис. 2. Три стадии обрушения блоков: *а* — появление трещины; *б* — опускание свободного конца блока; *в* — полное опускание блока.

различных форм. Трещины на концах балки (точки *A* и *B*) расположены над целиками угля: над задним целиком в 2—4 *м* от разрезной печи и над передним в 4—10 *м* впереди забоя.

* Здесь и дальше все размеры приведены в натуре.

При дальнейшей выемке пласта после обрушения слоев осадочных пород суммарной мощностью $\sum_{1}^{n} h_{\text{о. п}}$ образуются базальтовые консоли, которые, достигая предельной длины, отрываются от массива и опускаются на ранее обрушившиеся осадочные породы. Трещины, по которым отрываются консоли, опережают забой лавы на 4—10 *м* и наклонены в сторону выработанного пространства под углом к горизонту δ, равным 87—88° (рис. 2, *а*).

Размеры обрушившихся базальтовых блоков довольно выдержанны: отклонение от средних значений лежит в пределах 12—15%. Средние размеры блоков в зависимости от мощности эффузивов изменяются от 31 *м* при мощности базальтов 10 *м* до 66 *м* при мощности базальтов 50 *м*.

Вначале между обрушившимися блоками и консолями сохранялась определенная шарнирная связь: подработанная консоль, отламываясь под действием собственного веса, некоторое время удерживалась в шарнирном сочленении с лежащим на осадочных породах ранее обрушившимся блоком и свободным концом очередной консоли (рис. 2, *б*).

После прохода забоя под трещиной, которая разделяет оторвавшийся блок и удерживавшую его консоль, блок лишь одним концом опускался на обрушившиеся осадочные породы, принимая наклонное положение, и только после отрыва от массива следующего блока опускался на породы всей плоскостью (рис. 2, *в*).

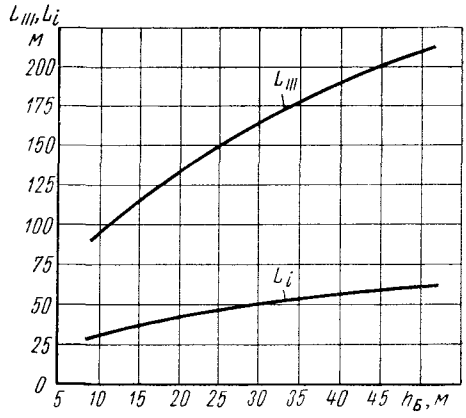


Рис. 3. Зависимость шага первого L_{III} и установившегося L_i обрушения изверженных пород от мощности одновременно обрушающегося слоя $h_Б$.

Шарнирная связь нарушалась после образования нескольких блоков, зависшие блоки сползали в выработанное пространство и при дальнейшей отработке участка эта связь не восстанавливалась. При мощности базальтов 11,5 *м* шарнирная связь нарушилась после образования семи блоков, при мощности 30 *м* — после отрыва четырех блоков, а при мощности 50 *м* первый же блок, образовавшийся после подработки консоли, опустился на осадочные породы. Наличие призабойной крепи не повлияло на характер обрушения базальтов и размеры блоков. Изменение длины базальтовой балки L_{III} при первом обрушении и средних размеров блоков L_i в режиме установившегося движения забоя в зависимости от мощности изверженных пород приведено на рис. 3.

Как показали наблюдения за выемкой пласта I, протяженность зоны опорного давления впереди лавы составляет 100—120 *м*. Величина максимума опорного давления достигает 2,65 от гидростатического (γH).

Опускания базальтовой толщи при выемке пласта I замерялись индикаторами-профилемерами. Эти опускания носят обычный характер и здесь не приводятся. Перед обрушением блоков скорость опускания базальтового покрова увеличивается, после обрушения — уменьшается.

Измерение горного давления в лавах посредством динамометрической крепи, имитировавшей призабойную крепь нарастающего сопротивления, показало, что при обрушении только осадочных пород горное давление в большинстве случаев невелико: 2—8 $T/м^2$ в лавах пласта I, 10—16 $T/м^2$

в лавах пласта III_1 и 25—35 $T/м^2$ в лавах пласта IV. Перед обрушением базальтов нагрузка на крепь значительно возрастала, так как к этому времени забой проходил трещину в базальтах и вся нагрузка перемещалась на крепь.

В лавах пласта I при опускании базальтовых блоков максимальное давление составляло 21,5—30,8 $T/м^2$; в лавах пласта III_1 соответственно 36,5—42,7 $T/м^2$ и в лавах верхнего слоя пласта IV достигало 56,4—74,0 $T/м^2$, т. е. увеличивалось на 19,5—39 $T/м^2$. В лавах нижнего слоя пласта IV давление было более равномерным (без резких колебаний нагрузок) и составляло 54,6—73,3 $T/м^2$.

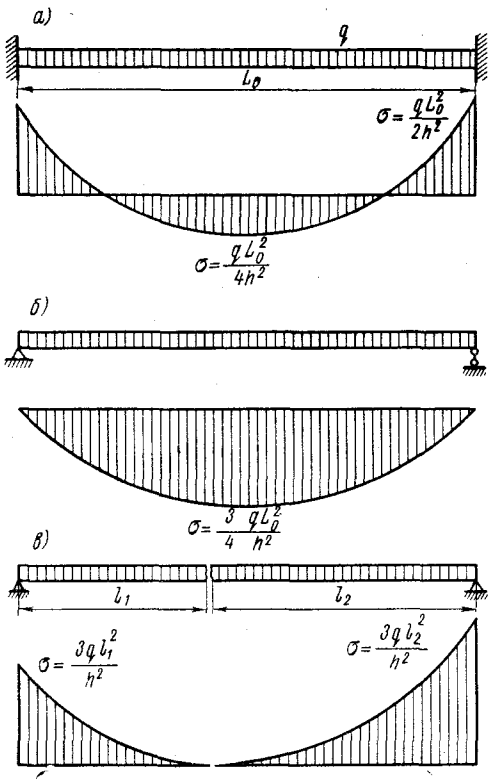


Рис. 4. Схема работы основной кровли в зависимости от заделки концов: *а* — балка, защемленная с двух концов; *б* — балка, свободно лежащая на опорах; *в* — работа балки после появления трещины.

Таким образом, изверженные породы, как и крепкие осадочные, обрушаются при больших пролетах. Так, при мощности базальтов 10 *м* первое обрушение произошло при пролете 95 *м*. Первое обрушение песчаника такой же мощности пласта Несветаевского в Донбассе происходило после отхода забоя лавы от разрезной печи на 109—128 *м* [Кравченко, 1959]. При этом площадь зависания песчаника достигала 12 500—17 500$м^2$. На некоторых шахтах Кизеловского бассейна зависание пород происходит на площадях, достигающих перед обрушением 30 000 $м^2$.

В режиме установившегося движения забоя шаг обрушения базальтов составил 31 *м* при мощности базальтовой толщи 11,5 *м*. Шаг естественного обрушения песчаника такой же мощности обычно находится в пределах 30—40 *м*.

Как показали наблюдения в шахтах и на моделях, обрушение основной кровли, представленной песчаниками и известняками, происходит, как правило, по забой. Причем трещина отрыва очередного блока от массива направлена под углом 65—75° к плоскости напластования пород в сторону выработанного пространства. Отрыв базальтовой консоли всегда происходит впереди забоя (рис. 2, *а*) с наклоном линии обрушения в том же направлении под углом 87—88°.

По наблюдениям за обрушением крепких пород в различных условиях залегания механизм работы кровли представляется следующим образом. После отхода забоя от разрезной печи основная кровля в лаве «работает» как балка на двух опорах (если рассматривать плоскую задачу), нагруженная равномерно распределенной нагрузкой (рис. 4). Характер закрепления такой балки можно представить в виде двух механических схем в зависимости от толщи пород, залегающих выше основной кровли.

1. Если залегающие выше основной кровли породы значительной мощности создают так называемую «закрепляющую нагрузку», то основная кровля «работает» как балка, защемленная по концам и пригруженная сверху равномерно распределенной нагрузкой вышележащих пород. В зависимости от плотности контакта и отсутствия или наличия трещиноватости пород это защемление может быть полным и неполным. При полном защемлении напряжения в местах заделки, вызванные подработкой, в два раза выше, чем напряжения посредине пролета (рис. 4, *а*). Когда эти напряжения превысят предел прочности породы, произойдет разлом и обрушение породы в выработанное пространство. Поскольку кровля разламывается над забоем, то призабойная крепь испытывает значительные нагрузки.

2. Если крепкую кровлю покрывают слабые породы малой мощности или она выходит на поверхность, то концы не защемляются и кровля «работает» как свободно опертая по концам балка, нагруженная своим весом (рис. 4, *б*). Максимальные напряжения в такой балке находятся в месте приложения максимального изгибающего момента — вблизи середины балки. Когда эти напряжения превысят предел прочности породы, в балке появится трещина. После пересечения трещиной всей мощности основной кровли однопролетная балка на двух опорах превращается в две консольные балки (рис. 4, *в*) и максимальные напряжения перемещаются к опорам, где, в свою очередь, кровля разламывается из-за отсутствия защемления не над самым забоем (или кромкой заднего целика у разрезной печи), а в глубине неподработанного массива. Свободные концы консолей опускаются на обрушившиеся породы непосредственной кровли, а концы, сопряженные с неподработанным массивом, зависают на целиках угля (см. рис. 1).

По такой схеме происходит первое обрушение базальтов. Рыхлые наносы мощностью 2—8 *м*, покрывающие базальтовую толщу, не могут защемить концы, и можно считать, что базальтовая балка «работает» как свободно опертая. Эта схема несколько условна, так как в действительности базальтовая балка вследствие связей с остальным массивом не является свободно опертой.

После перехода забоя на трещину в базальтах передний блок удерживается в наклонном положении вследствие шарнирного соединения с задним блоком и с очередной консолью и опускается на обрушенные осадочные породы лишь после отлома этой консоли. В зависимости от характера закрепления консоль разламывается над забоем или впереди его. В первом случае нагрузка на крепь будет выше, о чем свидетельствуют шахтные наблюдения [Кравченко, 1959; Давидянц, Козелев, 1960] в условиях крепкой кровли такой же мощности.

Г. Н. Кузнецов [1954] определяет условие образования шарнирной связи между блоками из соотношения мощности h слоя породы кровли и мощности m вынимаемого пласта (если рассматриваемый слой залегает непосредственно над пластом) или высоты h_c свободного пространства между обрушившимися породами и зависшим слоем следующим образом: $h > m$ или $h > h_c$.

Однако по наблюдениям на моделях оказалось, что для образования шарниров одного условия $h > m$ (или $h > h_c$) недостаточно. Так, при мощности пласта 3 *м* (пласт I) и мощности основной кровли (базальтов) 10—50 *м*, т. е. когда $h_Б = (3—16)\, m$ или $h_Б = (5 — 25)\, h_c$, шарнирной связи между блоками, как правило, не создавалось. Очевидно, для образования шарнирной связи необходимо, чтобы плоскость отрыва блока была наклонена в сторону неподработанного массива или, по крайней мере,

направлена по нормали к напластованию пород. При установившемся обрушении базальтов в моделях трещины были наклонены в сторону выработанного пространства и составляли с нормалью к напластованию пород угол 2—3°. Поэтому из-за сильного горизонтального распора при первом обрушении шарнирная связь между блоками сохранилась лишь до отработки 4—7 блоков. С увеличением мощности базальтов, как уже указывалось, число шарнирно связанных между собой блоков уменьшается. Это объясняется тем, что при первом обрушении в середине пролета (см. рис. 1, точка *C*) возникает выдавливающий породу сильный горизонтальный распор. Величина его тем значительнее, чем больше мощность базальтов, так как в последнем случае разрушается и выдавливается больший объем породы. После выдавливания базальтовой призмы величина горизонтального распора снижается и в дальнейшем блоки отрываются, сползая в виде косоугольных параллелепипедов.

Размеры пролетов, при которых происходило первое (после отхода от разрезной печи) обрушение изверженных пород, соответствуют третьему предельному пролету по В. Д. Слесареву [1952], определяемому без учета закрепления кровли на опорах.

Третий предельный пролет L_{III}, при котором кровля полностью теряет свою несущую способность и обрушается на всю мощность, определяется без учета закрепления кровли на опорах

$$L_{III} = 2\sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}} \tag{1}$$

или с учетом закрепления

$$L'_{III} = 2{,}44\sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}}, \tag{2}$$

где σ_p — сопротивление породы кровли разрыву, $кГ/см^2$;

h — мощность слоя породы, $м$;

γ — объемный вес породы, $т/м^3$.

Трещины в кровле появляются при обнажении, равном второму предельному пролету, определяемому без учета закрепления кровли на опорах,

$$L_{II} = \sqrt{\frac{8}{3}\frac{\sigma_p h}{\gamma}} \tag{3}$$

и с учетом закрепления

$$L'_{II} = 2\sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}}. \tag{4}$$

Сравнение пролетов, при которых появлялись трещины в базальтах, со вторым предельным пролетом, рассчитанным без учета закрепления кровли, показало хорошую сходимость опытных и расчетных результатов.

Как указывалось, первое обрушение базальтов происходило двумя блоками различной длины. Размеры по простиранию задних блоков равны половине размеров вторых предельных пролетов, рассчитанных без учета закрепления кровли на опорах по формуле (3):

Мощность базальтового слоя, $м$	10	11,5	30	50
Длина пролета первого обрушения базальтов L_0, $м$	95	98	148	214
Третий предельный пролет по В. Д. Слесареву, $м$	95,5	101	162	210
Размер заднего блока при первом обрушении базальтов, $м$	41	44	56	86
Половина второго предельного полупролета по В. Д. Слесареву $\frac{L_{II}}{2}$, $м$	39	42	54	82

При рассматриваемом строении пород важным фактором, определяющим условия взаимодействия изверженных и осадочных пород и осадки крепи, является шаг обрушения базальтовой толщи в режиме установившегося движения забоя. По В. Д. Слесареву [1952] шаг естественного обрушения основной кровли должен быть в 2,44 раза меньше шага первого обрушения, т. е. если первоначальное обрушение происходит при третьем предельном пролете, определяемом по формуле (1) или (2), то установившееся обрушение должно происходить при размерах консоли, равных

$$L_i = 0{,}82\sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}}. \qquad (5)$$

или

$$L_i' = \sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}}. \qquad (6)$$

Г. Н. Кузнецов [1954] предлагает шаг обрушения основной кровли определять двумя путями:

1) по соотношению шагов обрушения

$$L_i = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{3}\right) L_0, \qquad (7)$$

где L_0 — величина пролета основной кровли, при котором происходит ее первое (после отхода забоя от разрезной печи) обрушение;

2) по формуле сопротивления материалов при условии, что консоль основной кровли упруго защемлена над целиком угля и нагружена равномерно распределенной нагрузкой $q + \gamma h$ и сосредоточенной на конце консоли вертикальной пригрузкой $P = \frac{q+\gamma h}{2} L_{i-1}$, передаваемой со стороны соседнего обломившегося блока за счет сохранения шарнирной связи,

$$L_i = h\sqrt{\frac{\sigma_{из}}{6(q+\gamma h)}}, \qquad (8)$$

где q — равномерно распределенная нагрузка на основную кровлю, создаваемая вышележащими породами, $T/м^2$;

$\sigma_{из}$ — сопротивление породы кровли изгибу, $кГ/см^2$.

Так как горные породы являются телами хрупкими и разрушение их происходит вследствие разрыва, то А. А. Борисов [1964] по формуле той же структуры определяет шаг обрушения по пределу прочности на разрыв

$$L_i = h\sqrt{\frac{\sigma_p}{6(q+\gamma h)}}. \qquad (9)$$

Наши исследования на моделях показали, что средний шаг обрушения базальтов L_i составляет 31—32% от величины третьего предельного пролета (табл. 1)

$$L_i \simeq \frac{1}{3} L_{III}.$$

Для более точного определения средней величины шага обрушения базальтов применима формула (9), которая при отсутствии шарнирной связи между блоками и закрепляющей нагрузки будет иметь вид

$$L_i = \sqrt{\frac{\sigma_p h_Б}{3\gamma}}. \qquad (10)$$

Вычисленные по формуле (10) размеры блоков при установившемся обрушении имеют хорошую сходимость с полученными на моделях средними размерами шага естественного обрушения базальтов (табл. 1).

В итоге проведенных исследований разработана расчетная схема для определения горного давления (рис. 5). Как известно, основной причиной горного давления является вес покрывающих пород. В соответствии с этим горное давление в очистном забое в данных условиях слагается из двух давлений: от осадочных пород и от изверженных. Определить составляющую горного давления от изверженных пород можно из условий равновесия блока $ABB'A'$ (рис. 5, *а*) при переходе из второй стадии обрушения блоков в третью.

Таблица 1

Размер базальтовых блоков в режиме установившегося движения

Мощность базальтового слоя, *м*	Шаг естественного оборудования базальтов L_i, *м*		$\frac{L_i}{L_{III}}$, %
	на моделях (средний)	по формуле (10)	
11,5	31	29,5	31.6
30	48	47	32.4
50	66	61	30.8

Блок размером $L_i \cdot h_Б$ под действием веса Q стремится опуститься на обрушившиеся породы. Этому препятствуют реакции N и q и горизонтальный распор T в точках A и B'. Составив уравнение моментов относительно точки A, определим реакцию P' (рис. 5, *б*), оказываемую осадочными породами и крепью (замена распределенной реакции q сосредоточенной P' не внесет искажений в определение численной величины реакции)

$$P' = \frac{Q\,(L_i + h_Б \operatorname{tg}\beta)\cos\beta - 2T\,(h_Б - h_c)}{2\left(L_i + h_Б \operatorname{tg}\beta - \frac{l_н}{2}\right)\cos\beta}, \tag{11}$$

где β — угол наклона блока к горизонту, град.;

$l_н$ — ширина призмы осадочных пород, *м*;

$$h_c = m - \sum_{1}^{n} h_{о.п}\,(K_{ср} - 1); \tag{12}$$

$K_{ср}$ — средний коэффициент разрыхления осадочных пород.

Горизонтальный распор по Г. Н. Кузнецову [1954]

$$T = \frac{\gamma_Б h_Б L_i^2}{2\,(2h_Б - 3h_c)}, \tag{13}$$

где $\gamma_Б$ — объемный вес базальтов, $T/м^3$.

Угол наклона блока к горизонту приближенно можно высчитать по формуле

$$\sin\beta = \frac{h_c}{L_i}. \tag{14}$$

Для определения второй составляющей горного давления — от осадочных пород — рассмотрим призму $ДКВ'Е$ (рис. 5, *в*), нагруженную,

кроме собственного веса G, пригрузкой $P = P'$ от изверженных пород. Сила, сдвигающая призму, равна

$$(G + P) \sin \delta_1. \tag{15}$$

Сила трения, препятствующая сдвижению призмы по плоскостям $КД$ и $B'E$,

$$2 (G + P) \cos \delta_1 \operatorname{tg} \varphi, \tag{16}$$

где φ — средний угол внутреннего сопротивления осадочных пород, град.;

δ_1 — угол наклона призмы к горизонту, град.

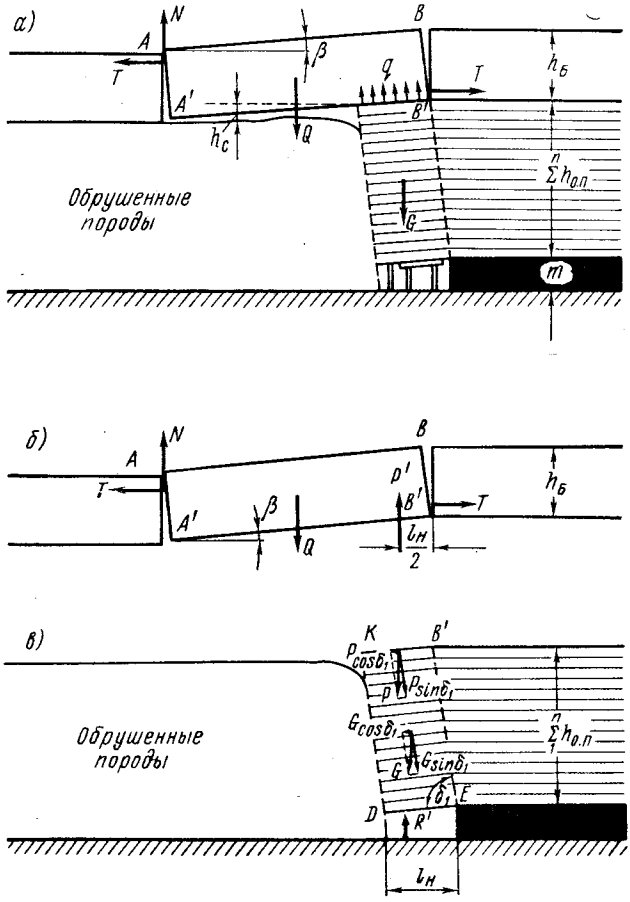


Рис. 5. Расчетная схема определения горного давления.

Породная призма, стремясь повернуться вокруг посадочной крепи с сопротивлением R' (сопротивление призабойной крепи засчитывается в запас прочности посадочной крепи), передает часть своего веса, равную $0{,}5(G + P)$, на соседнюю ранее обрушенную призму. При этом призма $ДКB'E$ будет находиться в равновесии при условии

$$(G + P) \sin \delta_1 = 2 (G + P) \cos \delta_1 \operatorname{tg} \varphi + 0{,}5 (G + P) \sin \delta_1 + R' \sin \delta_1. \tag{17}$$

Отсюда крепь будет испытывать нагрузку

$$R' = (G + P)(1 - 2\operatorname{ctg}\delta_1 \operatorname{tg}\varphi - 0{,}5) \qquad (18)$$

или отнесенную к единице площади кровли

$$R = \frac{G + P}{l_{\text{п}}}(1 - 2\operatorname{ctg}\delta_1 \operatorname{tg}\varphi - 0{,}5). \qquad (19)$$

Приведенная расчетная схема несколько условна, но определенное по ней горное давление соответствует давлению, замеренному во время отработки моделей (табл. 2).

Таблица 2

Выбор крепи для очистных забоев

Пласт	Мощность покрывающих пород, *м*		Максимальное горное давление, *Т/м²*		Рекомендуемая крепь			
					призабойная		специальная	
	осадочных	изверженных	на моделях	по формуле (19)	Тип	Плотность, *стоек/м²*	Тип	Плотность, *стоек/м*
I	18	10	21,5	20,5	КСТ, ГС, ТС	1	ГС, ТС	1
	18	30	30,8	30,0		1		2
III_1	60	10	36,5	35,4		1,2		3
	60	30	42,7	39,1		1,3		3
			Верхний слой					
IV	115	10	56,4	56,1		1,3	ОКУ, ОКМ	0,65
	120	30	74,0	69,3		1,5		1,0
			Нижний слой					
	115	10	54,6	—	Механизированные передвижные или комплексы (типа КТУ)			
	120	30	73,3	—				

Известная формула П. М. Цимбаревича [1951] и формулы А. А. Борисова [1964] в данных условиях неприемлемы, так как выведены для призм из однородной породы, сползающих от забоя. Призмы осадочных пород Майхинского месторождения сложены разнородными породами и (по данным, полученным на моделях) сползают на забой (см. рис. 5), поэтому и расчет горного давления здесь несколько отличается от расчетов П. М. Цимбаревича и А. А. Борисова.

Как известно, общее сопротивление крепи, отнесенное к 1 *м²* площади кровли (несущая способность крепи), равно сумме сопротивлений призабойной и посадочной крепи

$$R = R_1 n_1 + R_2 \frac{n_2}{b}, \qquad (20)$$

где R_1 — реакция призабойной стойки, T;
n_1 — число стоек призабойной крепи на 1 *м²* кровли;
R_2 — реакция посадочной стойки, T;
n_2 — число посадочных стоек на 1 *м* посадочного ряда;
b — ширина призабойного пространства, *м*.

В качестве призабойной крепи можно применять податливые металлические стойки нарастающего сопротивления (например, типа КСТ и др.) и постоянного (ГС, ТС и др.).

Плотность призабойной и посадочной крепи при максимальной ширине призабойного пространства $b = 4$ *м* и реакции призабойной стойки $R_1 = 20 - 25$ *Т* приведены в табл. 2

При меньшей ширине призабойного пространства плотность призабойной крепи можно уменьшить.

Как показали шахтные наблюдения, при стойках нарастающего сопротивления преобладающее сопротивление крепи на 1 *м* линии забоя приходится на органный ряд, а при стойках постоянного сопротивления — на призабойную крепь. Так в лавах, закрепленных стойками СДТ [Коган и др., 1959], нагрузка на органные тумбы ОКУ была на 12—44% выше нагрузок, воспринимаемых призабойными стойками на 1 *м* линии забоя, а при стойках ГС, наоборот, меньше на 47—63%. Это дает возможность в некоторых случаях заменить крепь ОКУ органной крепью с меньшей несущей способностью (например, гидравлическими стойками), что позволит сократить число рабочих, занятых на посадочных работах и повысить производительность труда.

Выводы

1. Пологие пласты Майхинского буроугольного месторождения, залегающие под изверженными породами, можно разрабатывать длинными очистными забоями с полным обрушением кровли. Шаг первой посадки базальтовой толщи определяется величиной третьего предельного пролета (без учета закрепления кровли на опорах) по В. Д. Слесареву и при мощности одновременно обрушающихся слоев 10—50 *м* будет находиться в пределах 95—214 *м*. Последующие обрушения произойдут блоками со средними размерами 31—66 *м*. Наличие призабойной крепи не изменит характера обрушения изверженных пород.

2. Вследствие шарнирной связи при первом обрушении изверженных пород и постадийного опускания блоков в режиме установившегося движения забоя, динамических нагрузок на крепь очистного забоя (как это имеет место при обрушении песчаников на некоторых шахтах Донецкого и других бассейнов) быть не должно. Окончательное суждение об этом может быть вынесено лишь после шахтных исследований.

3. В качестве призабойной крепи в лавах необходимо применять металлические стойки с высокой несущей способностью (35—40 $Т/м^2$) и характеристикой как нарастающего, так и постоянного сопротивления. Специальной крепью могут служить либо органный ряд из стоек призабойной крепи (при выемке верхних пластов и малой мощности базальтов), либо посадочные тумбы ОКУ, ОКМ и др.

4. В лавах нижнего слоя пласта IV целесообразны передвижные механизированные крепи или комплексы типа КТУ, так как нагрузки на крепь там более стабильны, а большая мощность слоя (до 6 *м*) позволяет применять комплекс КТУ, хорошо зарекомендовавший себя при разработке пологих пластов Томь-Усинского месторождения в Кузбассе.

5. При проведении регулярных наблюдений по увеличению скорости деформации базальтов можно прогнозировать смещение и время обрушения базальтовой толщи в районе очистных работ и соответственно принять надлежащие меры по увеличению плотности призабойной и особенно посадочной крепей.

6. Проведенные исследования позволили выяснить характер обрушения изверженных пород после подработки и определить ожидаемое горное давление в очистных забоях. На основании этого можно составить примерный паспорт крепления и управления кровлей, который будет совершенствоваться в процессе эксплуатации месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

Борисов А. А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. Недра, 1964.

Давидянц В. Т., Козелев Г. Я. Исследования проявлений горного давления в очистных забоях при новых видах крепи. Госгортехиздат. 1960.

Коган А. Б. и др. Исследование проявлений горного давления в связи с применением гидравлических стоек типа ГС. Уголь Украины, № 4, 1959.

Кравченко В. И. О поведении пород кровли на шахте им. Ленина. Уголь, № 2, 1959.

Кузнецов Г. Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок. Сб. Исследования по вопросам горного и маркшейдерского дела. Углетехиздат, 1950.

Кузнецов Г. Н. О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих угольных пластов. Сб. Исследования горного давления применительно к механизированным крепям. Углетехиздат, 1954.

Кузнецов Г. Н. и др. Изучение проявлений горного давления на моделях. Углетехиздат, 1959.

Слесарев В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1952.

Цимбаревич П. М. Рудничное крепление. Углетехиздат. 1951.