Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXIX, вып. I, 1953 г.

ЩИТОВАЯ КРЕПЬ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТОНКИХ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ ПОЛОСАМИ ПО ПАДЕНИЮ

Доц. Е. Я. Махно

Одним из важнейших мероприятий для дальнейшего перевооружения угледобывающей промышленности, предусмотренным директивами XIX съезда КПСС по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг., является широкое внедрение механизированных способов крепления лав.

Замена ручного крепления механизированным необходима для полной комплексной механизации горных работ в очистных забоях. Она повлечет коренное изменение всего технологического процесса, обеспечит дальнейшее повышение добычи угля, рост производительности и облегчение труда горнорабочих. Поэтому актуальной задачей является создание и внедрение надежных и высокопроизводительных способов механизированного крепления очистных забоев.

Многообразие условий залегания пластов угля требует создания значительного числа конструкций механизированной крепи, соответствующих определенным горнотехническим условиям.

В статье автора «Разработка тонких и средней мощности крутопадающих пластов без применения деревянной крепи» показаны преимущества горизонтального расположения очистных забоев при механизации крепления [8].

Ниже приведены различные типы щитовой крепи для разработки тонких и средней мощности крутопадающих пластов полосами по падению.

1. Секционная щитовая крепь

Секционный щит [14] состоит из жестких секций аркообразной или П-образной формы, соединенных гибкой связью (рис. 1). Длина секции 2,0—3,5 *м*, высота около 2,0 *м*. Ширина секции немного меньше мощности пласта. Каждая секция состоит из стального каркаса, покрытого железными листами или деревом.

Щит перекрывает очистной забой и под действием собственного веса и веса вышележащих пород передвигается вниз по мере отработки пласта.

Несмотря на простоту конструкции, такого рода щиты не могут быть рекомендованы к применению, так как имеют ряд существенных недостатков:

1) жесткая конструкция секции, исключающая возможность регулирования ширины щита, что влечет потери угля по мощности пласта;

2) возможное обрушение кровли непосредственно у груди забоя, которое затруднит передвижение щита и повлечет засорение угля породой;

3) для обеспечения достаточной прочности длинной и жесткой секций требуется много металла, что удорожает добычу угля;

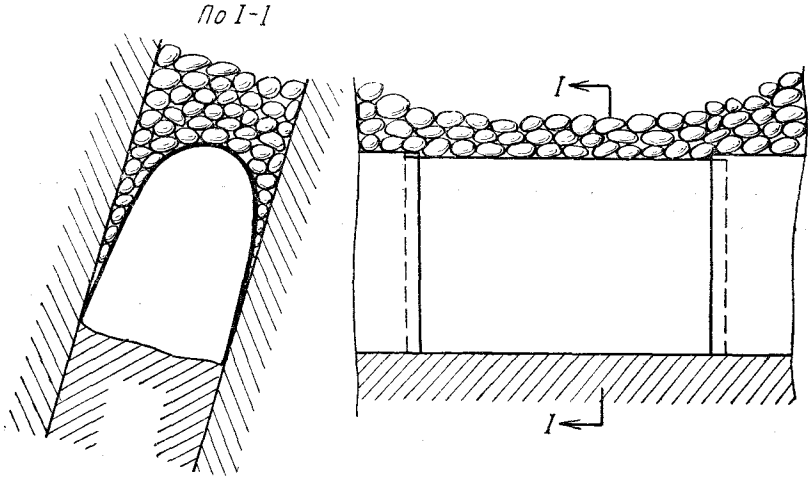


Рис. 1. *Секционный жесткий щит*

4) сложность демонтажа щита, приводящая к его потере и, следовательно, к значительному расходу металла.

2. П-образный щит

Общий вид П-образного щита показан на рис. 2. Он не имеет указанных выше недостатков. Щит состоит из подвижной породной подушки *5*, которая поддерживается П-образными металлическими рамами и проволочной сеткой *2*. Рамы расположены на расстоянии 0,3—0,5 *м* и связаны шарнирным соединением. У кровли и почвы пласта к верхней части рам шарнирно крепятся «ребра» *7*. Над ними располагается сетка и крепится к рамам при помощи болтов *8* с таким расчетом, чтобы манжеты *2* сетки выступали за концы «ребер» *7* на 0,3—0,5 *м*.

Весом породы манжеты прижимаются к почве и кровле пласта и тем самым исключается возможность просыпания породы в рабочее пространство. Ребра *7*, скользя концами по кровле и почве, будут поддерживать сетку в местах раздутий пласта, что обеспечит нормальную работу щита при местных изменениях мощности пласта.

П-образные рамы состоят из двух ног *1*, жестко скрепленных друг с другом болтами *6*. Для облегчения передвижения опор вниз нижние концы ног *1* заострены, а нога, расположенная у висячего бока, несколько отогнута и образует с кровлей пласта угол 6—8°.

Чтобы исключить перекашивание опор, все ноги у почвы и кровли пласта соединяются канатами *10* или жесткими связями. Канаты *10* или связи крепятся на расстоянии 0,2—0,3 *м* от нижних концов ног и тем самым исключают возможность погружения ног в уголь более чем на 0,2—0,3 *м*.

Со стороны висячего бока к нижней части опоры при помощи серьги прикрепляется лыжа *4*, которая непрерывно прижимается пружиной

к кровле пласта. Силу прижимания пружины можно регулировать винтом *9*.

В процессе опускания щита лыжа скользит по кровле, заменяя затяжку и тем препятствует отваливанию отдельных ее частей. Размеры лыжи выбираются в зависимости от свойств пород кровли.

В случае изменения мощности пласта регулирование ширины щита может быть произведено двумя путями. Небольшое изменение ширины щита (на 0,3—0,5 *м*) осуществляется автоматически в процессе опускания его за счет отклонения ребер *7*.

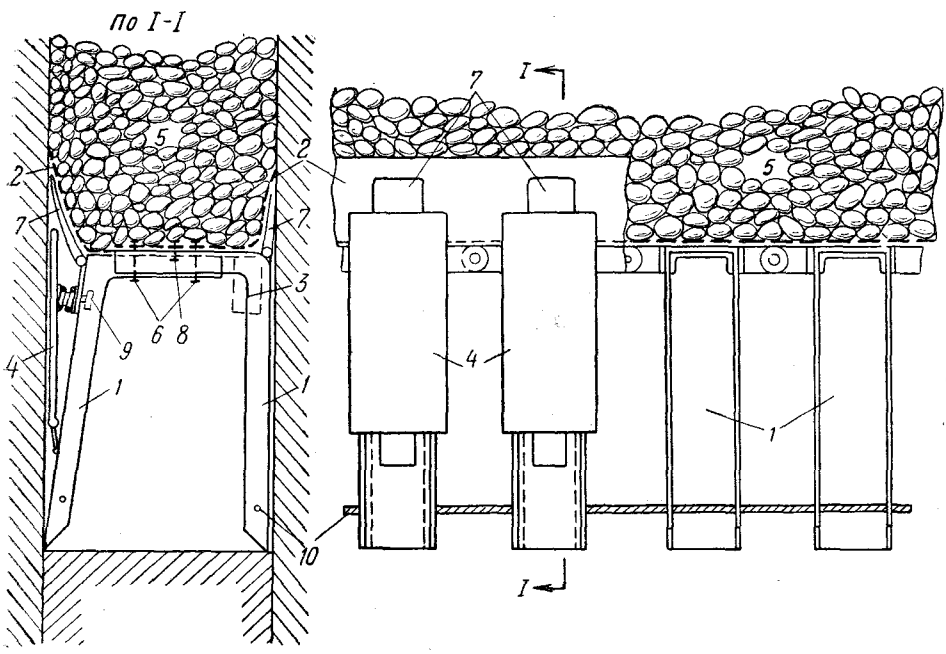


Рис. 2. Гибкий П-образный щит

Ширину щита также можно изменить перемещением одной опорной ноги по другой. Для этого ногу у лежачего бока подпирают вспомогательной домкратной стойкой, ослабляют гайки на болтах *6*, переносным легким домкратом передвигают вторую ногу на необходимую величину и вновь затягивают гайки на болтах *6*. При этом наибольшая величина передвижения ноги у висячего бока определяется длиной прорезей в верхней части ноги у почвы пласта, через которые проходят болты *6*.

Монтаж щита производится у вентиляционного штрека. Для этого в почве вентиляционного штрека пласт отрабатывается на глубину 3,0—4,0 *м*. В образованной таким образом траншее устанавливаются ноги *1* и распираются между кровлей и почвой деревянными стойками. Затем расстилают сетку, причем манжеты заворачивают вверх и прижимают к кровле и почве пласта также деревянными стойками. С вентиляционного штрека выгружают мелкую породу — заполнитель, распределяемую ровным слоем вдоль щита, образуя подушку *5*. После этого убирают распорные стойки и монтаж щита заканчивается.

В дальнейшем в начальный период отработки столба, по мере опускания щита, образующееся над ним свободное пространство заполняют дробленой породой, пока толщина породной подушки не достигнет необходимой величины. Последующая разработка пласта производится с обрушением кровли.

При разработке средней мощности и тонких пластов необходимо обеспечить возможность демонтажа щита. Это особенно важно при разра-

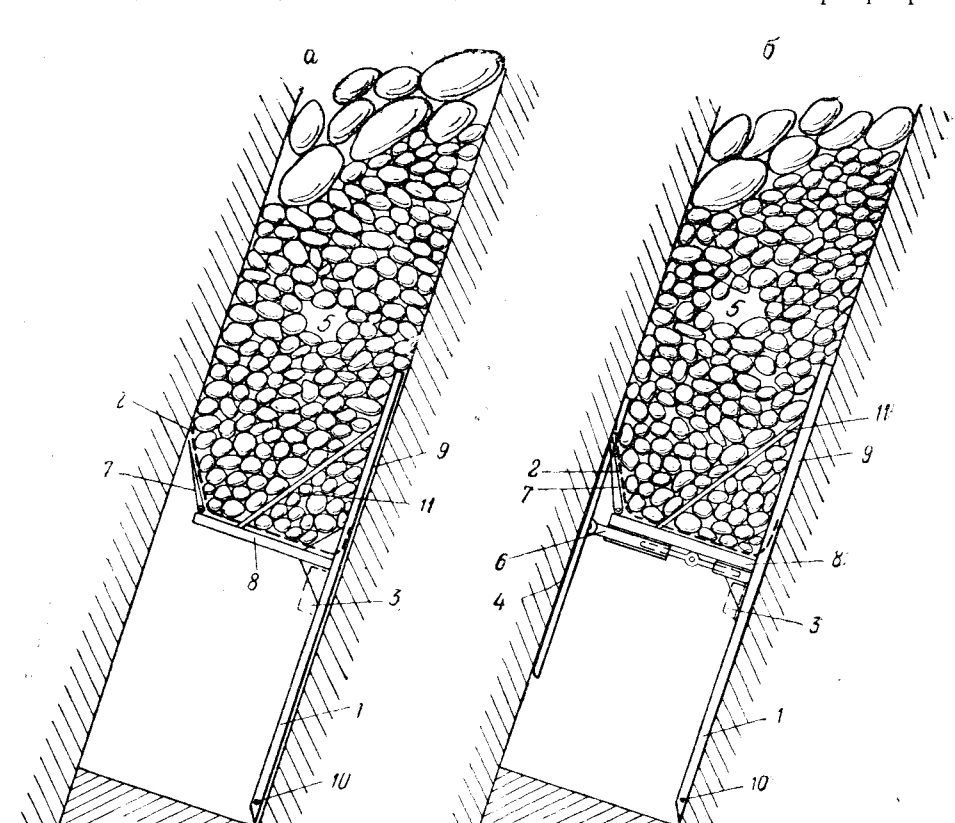


Рис. 3. Гибкий Г-образный щит

ботке тонких пластов, так как потеря щита в этом случае ведет к чрезмерно большому удельному расходу металла и снижает эффективность применения щитов.

В описанной выше конструкции щита опорные рамы расположены на расстоянии 0,3—0,5 *м*, что дает возможность расположить между ними обычные стойки, под прикрытием которых демонтаж щита не представит затруднений. Демонтажу подлежат опорные рамы — наиболее металлоемкие части щита.

Большое значение в щите имеет породная подушка *5*. Она представляет собой своего рода подвижную опору для боковых пород и составляет неотъемлемую часть всего щита.

Для нормальной работы очистного забоя весьма важно обеспечить систематическое опускание щита вслед за отработкой пласта. Поэтому нельзя допустить отрыв металлической конструкции щита от породной подушки. Чтобы обеспечить должную подвижность породной подушке и всему щиту, можно использовать электрические или пневматические вибраторы *3*, которые крепятся к верхним частям опорных ног (рис. 2) на расстоянии 1—3 *м* друг от друга и включаются по мере необходимости. Для лучшей передачи вибраций породной подушке к ногам могут быть прикреплены стержни, расположенные внутри подушки.

Образование местных сводов в вибрирующей системе невозможно. Кроме того, вибрация резко снижает внутреннее трение между частицами породы, чем облегчает движение щита вниз.

Таким образом, П-образный гибкий щит состоит из следующих основных частей:

1) породной подушки, представляющей подвижную опору для боковых пород;

2) металлической гибкой конструкции для поддержания породной подушки;

3) устройства для регулирования ширины щита при изменениях мощности пласта;

4) устройства для исключения отслаивания кровли в рабочем пространстве;

5) вибраторов для обеспечения подвижности всего щита.

Этот щит совершеннее секционной щитовой крепи, но имеет также существенные недостатки:

1) наличие больших напряжений в раме при опирании на почву забоя только одной ногой, что требует значительного усиления опорных ног, делает их громоздкими и тяжелыми;

2) загромождение рабочего пространства ногами у кровли (рис. 2), затрудняющее применение щита при мощности пласта меньше 1,0—1,2 *м*.

Эти недостатки исключены в Г-образном щите (рис. 3).

3. Г-образный гибкий щит

Щит состоит из Г-образных рам, расположенных на расстоянии 0,3—0,5 *м* (рис. 3). Рамы соединены гибкой связью посредством шарниров или стальных канатов. Каждая рама состоит из ноги *1*, верхняка *8* и хвостовой балки *9*. Хвостовая балка *9*, жестко соединенная с ногой *1*, является ее продолжением. Верхняк *8* также жестко присоединен к ноге *1* и хвостовой балке *9* посредством косынок. Одной стороной он опирается на ногу *1*, а другой стороной подвешен к хвостовой балке *9* при помощи тяги *11*. Хвостовая балка *9*, зажатая породой, представляет надежную опору для верхняка *8*. При этом она будет подвержена в основном сжимающим, а тяга *11* — растягивающим, т. е. наиболее благоприятным нагрузкам, что определит наименьший расход металла.

При таком способе крепления верхняка необходимость во второй опорной ноге у кровли пласта отпадает и обеспечивается наибольшая ширина рабочего пространства. Это является весьма важным фактором, позволяющим применять такой щит при разработке пластов мощностью всего 0,6—0,8 *м*.

Поверх верхняка укладывается и крепится к нему болтами прочная проволочная сетка с размерам ячейки 3—4 *мм*. Бока сетки *2* загнуты вверх и образуют манжеты, препятствующие просыпанию породы в рабочее пространство.

Манжет *2* у висячего бока пласта поддерживается ребрами *7*, шарнирно прикрепленными к верхняку *8*. Это позволяет отрабатывать без потерь участки с местными изменениями мощности пласта. Допускаемая величина изменений мощности пласта определяется длиной ребер *7*. Так, при длине ребер 0,85 *м* допустимы изменения мощности пласта на 0,5 *м*, что удовлетворяет большинству случаев разработки тонких крутопадающих пластов.

Известно, что давление кровли на крепь при крутом падении пластов значительно меньше, чем при пологом. Давление возрастает с увеличением расстояния от груди забоя, поэтому, в данном случае, давление кровли в основном будет воспринимать породная подушка *5* и оно будет незначительным в пространстве между подушкой и грудью забоя. Вследствие этого при устойчивых породах необходимость поддержания висячего бока в пространстве ниже породной подушки отпадает, и конструкция щита будет наиболее проста (рис. 3, *а*).

При разработке пород средней крепости, чтобы избежать возможного отваливания отдельных слоев кровли и засорения угля, последние поддерживаются лыжами *4* (рис. 3, *б*), расположенными на каждой раме щита и служащими своего рода передвигающейся затяжкой. Лыжа *4* шарнирно крепится со стойкой *6*, передвигающейся в специальной направляющей, и представляет одно целое с верхняком *8*. При помощи двустороннего винта с правой и левой резьбой стойка *6* может выдвигаться приблизительно на 0,5 *м*, т. е. на величину, соответствующую допустимым изменениям мощности пласта. Под нижней гайкой винта целесообразно расположить пружину, которая обеспечит постоянное прижатие лыжи и некоторую податливость всей системы.

Лыжа *4* имеет хвостовую часть, заведенную в породную подушку *5*. С увеличением прочности лыжа, за счет тормозящего действия, будет представлять дополнительную опору для верхняка *8*. Тормозящее действие хвостовой части лыжи *4* и балки *9* можно значительно увеличить и регулировать путем выдвижения специальных шипов, врезающихся в почву или кровлю. Последнее имеет существенное значение при мощности пласта 2,5—3,5 *м*, когда давление на ноги щита может достичь значительной величины. К ноге *1* прикрепляется вибратор *3*, передающий вибрации всему щиту и породной подушке *5*. Хвостовые балки *9* и тяги *11* облегчат передачу вибраций от щита породной подушке. Наличие хвостовой балки *9* исключает возможность отхода щита от почвы пласта при передвижении его вниз под действием давления породной подушки, что также является весьма важным фактором обеспечения нормальной работы.

Нижние части ног *1* связаны канатом *10* или брусками, препятствующими излишнему погружению их в уголь.

Г-образный щит по сравнению с предыдущими имеет следующие преимущества:

1) более простое устройство;

2) меньший вес;

3) исключение возможности отхода щита от почвы пласта, обеспечивающее более плавное и правильное опускание его вдоль лежачего бока;

4) отсутствие опорной ноги у висячего бока пласта, дающее большую свободу передвижения и размещения людей в очистном забое. Это позволяет использовать щит в Донбассе и других угольных бассейнах при разработке крутопадающих пластов мощностью от 0,6—0,7 *м*.

4. Самотормозящий щит

Как указывалось выше, обязательным условием нормальной работы щита является обеспечение подвижности породной подушки, исключение возможности ее зависания.

Для этого необходимо соблюдение двух условий: 1) материалом породной подушки должна быть крепкая, не склонная к слеживанию дробленая порода; 2) щит и породная подушка при необходимости должны приводиться в вибрирующее состояние.

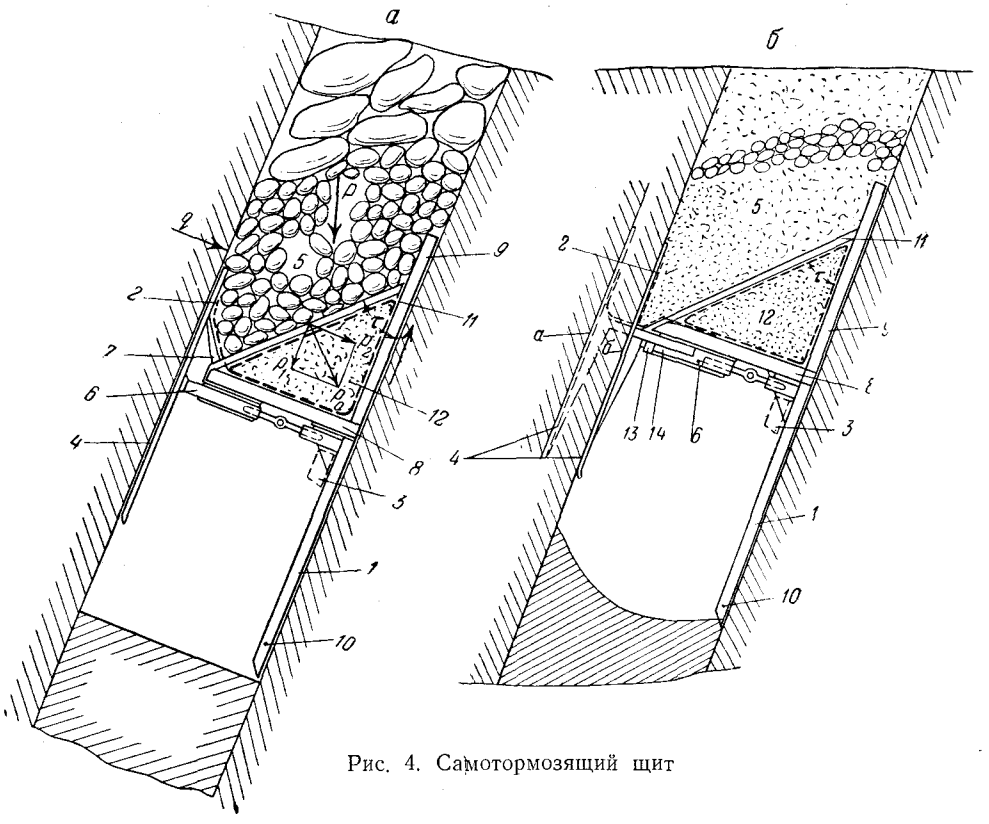


Рис. 4. Самотормозящий щит

Можно также исключить возможность зависания породной подушки путем изменения ее устройства и придания ей определенной формы (рис. 4, *а*).

Устройство такого щита аналогично приведенному на рис. 3, отличием является устройство породной подушки.

Породная подушка состоит из двух частей — верхней *5* и нижней *12*, расположенных одна над другой. Нижняя породная подушка *12* представляет треугольную призму с углом τ у почвы пласта (рис. 4, *а*). Она состоит из крепкой дробленой породы и заключена в прочную проволочную сетку, которая охватывает ее с трех сторон. Выше засыпается такая же порода, которая образует верхнюю породную подушку *5*. Она отделена от нижней породной подушки *12* сеткой и тягами *11*. В промежутках между хвостовыми балками *9* сетка прогибается и опирается на лежачий бок пласта. Для обеспечения нормальной работы важно правильно установить величину угла τ.

В результате давления кровли q и вышележащих пород p на верхнюю грань призмы *12* нормально к ее поверхности будет действовать прижимающая сила p_0. Величина давления кровли q возрастает с увеличением расстояния от груди забоя, а давление подушки *5* на верхнюю грань призмы у лежачего бока пласта будет больше, чем у висячего, поэтому при значении $\tau \leqslant 45°$ направление действия равнодействующей этих сил — силы p_0 всегда будет проходить выше нижнего угла призмы. Следовательно, под действием сил q и p нижняя породная подушка будет всегда прижата к почве пласта, что обеспечивает нормальное опускание щита.

Разложим силу p_0 на составляющие p_1 и p_2, направленные параллельно и перпендикулярно почве пласта (рис. 4, *а*).

Условие равновесия будет определяться выражением

$$p_0 \sin \tau = p_0 f \cos \tau,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \tau = f, \tag{1}$$

где f — коэффициент трения щита о почву пласта, равный 0,5—0,6.

Давление P на ноги щита может быть выражено формулой

$$P = p_0 (\sin \tau - f \cos \tau) + q_0 (\sin \alpha - f \cos \alpha) - 2rf, \tag{2}$$

где P — давление на ноги щита, *т/м*;

q_0 — вес щита и нижней породной подушки, *т/м*;

α — угол падения пласта;

r — распор, осуществляемый стойкой 6 *т/м*.

В зависимости от принятой величины угла τ член $p_0 (\sin \tau - f \cos \tau)$ может иметь положительные и отрицательные значения независимо от p_0. При углах падения пласта больше 50—55° член $q_0 (\sin \alpha - f \cos \alpha)$ всегда будет иметь положительные значения.

При правильной регулировке раздвижной стойки *6* распор ее будет определяться давлением пружины, составляющим около 1 *т*. Поэтому член $2rf$ можно считать постоянным, равным приблизительно 1 *т* на 1 *м* щита. Таким образом, уменьшить давление P на ноги щита можно главным образом за счет уменьшения угла τ.

Очевидно, наиболее благоприятным следует считать случай, когда $P = 0$. Тогда уравнение (2) принимает вид:

$$\pm p_0 (\sin \tau - f \cos \tau) + q_0 (\sin \alpha - f \cos \alpha) = 2rf. \tag{3}$$

При этом вся система находится в равновесии, и для приведения в движение щита необходимо включить вибраторы. Вибрация уменьшает трение между щитом и почвой пласта, снижает значение f, за счет чего возрастает сила P и вся система начинает опускаться.

При отсутствии вибраторов для обеспечения надежного опускания щита необходимо, чтобы $P > 0$. Тогда значение угла τ можно принимать соответствующим случаю

$$p_0 (\sin \tau - f \cos \tau) = 0,$$

что будет иметь место при $\operatorname{tg} \tau = f$.

Величина давления P на ноги щита при этом составит

$$P = q_0 (\sin \alpha - f \cos \alpha) - 2rf. \tag{4}$$

При незначительной мощности пласта, когда значение q_0 невелико, следует соответственно увеличить угол τ или применить вибраторы *3*.

Таким образом, разделение породной подушки на две части позволяет уменьшить давление на ноги за счет правильного выбора угла τ и использовать вибраторы лишь в экстренных случаях. Треугольная форма поперечного сечения нижней породной подушки *12* дает возможность направлять давление кровли и подушки *5* на торможение всей системы. При этом важно, что с увеличением давления кровли соотношение между силами, передвигающими щит, и силами тормозящими остается постоянным. Это обеспечит плавное опускание щита с умеренным давлением на ноги при практически любой величине давления кровли.

Ранее указывалось на возможность регулирования давления на ноги щита посредством изменения ширины манжет *2* сетки (рис. 2). Такой способ регулирования следует считать более грубым, так как при увеличении давления кровли соотношение сил, передвигающих щит, и сил тормозящих изменяется в сторону резкого увеличения последних, что при значительной ширине манжет *2* может привести к зажиму щита.

Треугольная форма поперечного сечения нижней породной подушки исключает возможность зажима породной подушки и отрыва от нее опорных рам щита. Нижняя породная подушка *12* охватывается тягами *11* и хвостовыми балками *9* (рис. 4, *а*), поэтому представляет собой как бы одно целое с опорными рамами и оторваться от них не может.

Вместе с опорными рамами нижняя породная подушка *12* служит опорой для верхней породной подушки *5*, в которую она входит в виде несамотормозящего клина и от которой отделена стенкой из проволочной сетки. Поэтому она не может быть зажата между почвой пласта и верхней породной подушкой и по мере отработки забоя будет автоматически опускаться вниз. Само собой разумеется, что для этого, как указывалось выше, необходимо правильно установить величину угла τ.

С другой стороны, также невозможен отрыв и верхней породной подушки *5* от нижней подушки *12*, так как при опускании последней обнажается нависающая стенка подушки *5*, состоящая из рыхлой породы, которая под действием собственного веса и давления кровли немедленно обрушится. Таким образом, в процессе отработки забоя верхняя и нижняя породные подушки, не отрываясь друг от друга, должны автоматически опускаться вместе со всем щитом.

Минимальная ширина всей породной подушки будет определяться размером хвостовых балок *9*, длину которых следует принимать на 20—30% больше мощности пласта, что вполне обеспечивает ее устойчивость.

Нижняя породная подушка *12*, как указывалось, заключена в прочную проволочную сетку и скреплена с опорными рамами тягами *11* и хвостовыми балками *9*. Поэтому она будет представлять своего рода длинный набитый породой мешок, который обладает значительной несущей способностью. Это обеспечит более надежное соединение элементов щита в одно гибкое целое и повлечет более плавное опускание всей системы. Последнее обстоятельство является особенно важным, так как в процессе отработки могут образоваться углубления в почве забоя, над которыми щит может провисать.

Монтаж щита производится в траншее у вентиляционного штрека. Вначале монтируются опорные рамы с хвостовыми брусьями *9* и распираются стойками *6* (рис. 4). Затем раскладывается сетка *2* с таким расчетом, чтобы часть ее расположилась под нижней породной подуш-

кой *12*. Затем на верхняках *8* и почве пласта укладывается сетка, охватывающая нижнюю породную подушку *12*. Остальная часть сетки при этом временно отворачивается к кровле пласта. На сетку засыпается порода и ей придается форма треугольной призмы так, чтобы угол наклона верхней грани к горизонту составлял $\alpha - \tau$ (α — угол падения пласта, τ — угол наклона верхней грани призмы к почве пласта).

После этого породу покрывают оставшейся частью сетки и укрепляют тяги *11*. Заключительной операцией является засыпка верхней породной подушки *5*.

Демонтаж щита производится после отработки полосы под прикрытием деревянных стоек, которыми подпирают породную подушку в промежутках между опорными рамами. Демонтажу подлежат ноги *1*, нижние части которых связаны канатом *10*, верхняки *8*, лыжи *4* и распорные стойки *6*.

В случае местных изменений мощности пласта может возникнуть затруднение при регулировании ширины щита, связанное с наклонным расположением верхней поверхности нижней породной подушки *12*. Так, при уменьшении мощности пласта порода может заклиниться между верхней поверхностью подушки *12* и ребрами *7*, которые при поворачивании будут подвержены чрезмерно большим напряжениям и могут вызвать поломку частей.

В этом случае целесообразно применить устройство для изменения ширины щита (рис. 4, *б*). Оно состоит из железных листов или решетки *14* и проволочной сетки *2*. Решетка *14* состоит из параллельно расположенных стержней, левые концы которых скреплены с лыжей *4*. Второй опорой решетки служит направляющий брус *13*, прикрепленный к раме рядом со стойкой. Поверх решетки укладывается проволочная сетка *2*, правая сторона которой прикрепляется к нижней подушке *12*, а левая прижата породой к кровле пласта. При увеличении мощности пласта решетка *14*, скрепленная с лыжей *4*, будет выдвигаться, при этом сетка *2* будет вытягиваться от висячего бока и закроет решетку (рис. 4, *б*, положение *а*). При уменьшении мощности пласта решетка будет вдвигаться под раму, а сетка, прижатая породой к кровле, в процессе опускания щита опять займет старое положение (положение *б*).

Существенным достоинством этого способа регулирования ширины щита является меньшее обнажение кровли, что имеет большое значение при наличии слабых пород. Но само устройство здесь более сложно.

Таким образом, приведенное на рис. 4 устройство породной подушки имеет следующие преимущества:

1) исключение возможного зажима породной подушки и щита даже при самых неблагоприятных условиях (большое давление кровли), обеспечивающее высокую надежность работы всей системы;

2) возможность полного или частичного использования принципа самоторможения щита при опускании, снижающая нагрузку на ноги щита и таким образом содействующая повышению надежности работы и уменьшающая расход металла;

3) обеспечение гибкости щита и плавности его опускания;

4) создание более надежного соединения отдельных элементов щита в одну прочную и гибкую систему.

Нижняя породная подушка *12* (рис. 4) может быть заменена жесткой треугольной призмой, изготовленной из дерева или каменных блоков. В этом случае щит собирается из жестких небольшой длины секций, соединенных гибкой связью. Чем короче будут секции, тем более гибким, а следовательно, прочным и надежным в работе будет щит.

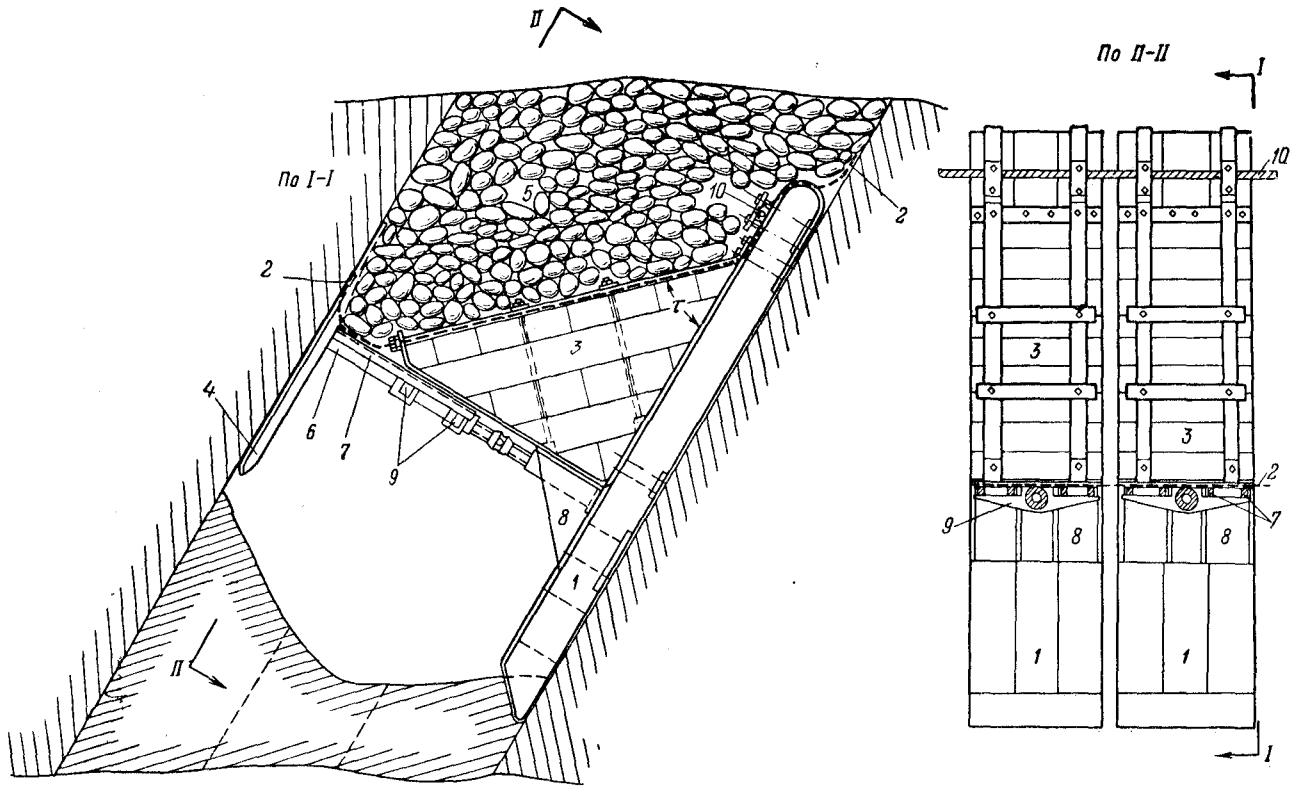


Рис. 5. Секционный самотормозящий щит

Общий вид щита показан на рис. 5. Секции его, изготовленные из деревянных брусьев, имеют Г-образную форму. Деревянная призма стягивается железными полосами и крепится болтами к опорной ноге *1*. Снизу призма *3* опирается на угольник *8*, также прикрепленный к ноге *1*. Для обеспечения прочности и увеличения площади опоры ноги *1* изготовляются из нескольких брусьев, расположенных впритык друг к другу и снизу обитых листовым железом. Это исключает задирание почвы и уменьшает трение щита о почву. Секции расположены на небольшом расстоянии друг от друга и связаны между собой канатом *10*.

Для предупреждения отслаивания пород кровли используются лыжи *4*, подпираемые раздвижными стойками *6*, опирающимися на пружины, которые обеспечивают постоянное прижатие лыжи к кровле.

Для регулирования ширины щита служит решетка *7* на опорах *9*, которая поддерживает проволочную сетку *2*, перекрывающую весь щит и исключающую возможность попадания породы в пространство между секциями. Выше сетки *2* засыпается породная подушка *5*.

Монтаж щита не представляет затруднений и производится у вентиляционного штрека.

Демонтажу подлежат лыжи *4*, раздвижные стойки *6* и опорные угольники *8*.

Верхний угол призмы τ принимается в пределах от 35 до 45°. Это обеспечивает плавное опускание щита и вследствие самоторможения значительно уменьшает давления на ноги *1*. Правильно выбирая значения угла τ, можно всегда обеспечить небольшое давление на ноги щита при любых углах падения пласта (от 50 до 90°), пользуясь уравнениями (2), (3), (4).

Таким образом, принципиальная схема устройства и работа этого щита аналогичны приведенному на рис. 4. Достоинством этого щита следует считать его более простое изготовление, требующее в основном более дешевого материала (дерево или камень).

Недостатки его, связанные с большой жесткостью конструкции, можно смягчить за счет уменьшения длины секций до 0,8—1,0 *м*.

При конструировании такого рода щитов необходимо определить его давление на ноги. Приводим приближенное решение этой задачи (расчетная схема щита показана на рис. 6).

Как указывалось, на поверхность щита *аб* действует давление кровли и результирующая веса породной подушки, которую можно рассматривать как равнодействующую веса части породной подушки *абв* и давления расположенной выше породы. Таким образом, давление p_0 на 1 пог. *м* поверхности щита *аб* можно рассматривать как перпендикулярную к поверхности *аб* составляющую равнодействующей сил q, p' и p'', и она может быть определена выражением

$$p_0 = q \cos \tau \frac{m}{\operatorname{tg} \tau} + p' m \sin \tau + p'' \cos (\alpha - \tau),$$

где q — среднее давление кровли на 1 $м^2$ площади ab;

p' — среднее давление расположенной выше породы на 1 $м^2$ площади ab;

p'' — вес объема *абв*.

Давление $p'm$ на 1 пог. *м* поверхности *бв* для пластов мощностью до 2,0—2,5 *м* может быть определено уравнением [8]

$$p'm = m\xi (q + 0{,}5m\gamma \cos \alpha).$$

Давление p'' может быть выражено

$$p'' = 0{,}5\gamma \frac{m^2}{\operatorname{tg}\tau},$$

где m — мощность пласта;
ξ — коэффициент бокового распора;
γ — объемный вес породной подушки;
α — угол падения пласта.

Отсюда следует

$$p_0 = q\cos\tau\frac{m}{\operatorname{tg}\tau} + m\xi(q + 0{,}5m\gamma\cos\alpha)\sin\tau + 0{,}5\gamma\frac{m^2}{\operatorname{tg}\tau}\cos(\alpha - \tau). \qquad (5)$$

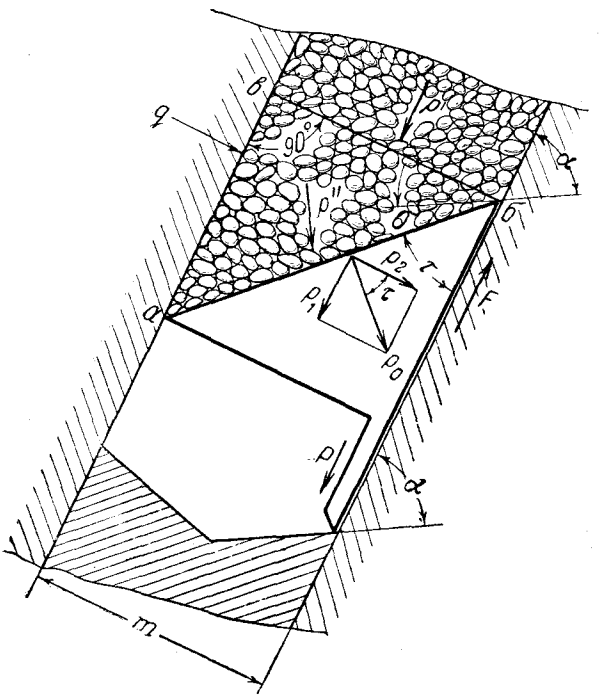


Рис. 6. Расчетная схема щита

При мощности пласта больше 2,0—2,5 *м* давление $p'm$ лучше определять уравнением [8]

$$p'm = \gamma m^2\left(\frac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{2f\xi} + 0{,}5\xi\cos\alpha\right).$$

В этом случае перпендикулярная к поверхности *аб* составляющая p_0 сил q, p' и p'' определится

$$p_0 = q\cos\tau\frac{m}{\operatorname{tg}\tau} + \gamma m^2\left(\frac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{2f\xi} + 0{,}5\xi\cos\alpha\right) + \\ + 0{,}5\gamma\frac{m^2}{\operatorname{tg}\tau}\cos(\alpha - \tau). \qquad (6)$$

Давление P на ноги щита, приходящееся на 1 пог. *м* его, будет выражено уравнением (2)

$$P = p_0(\sin\tau - f\cos\tau) + q_0(\sin\alpha - f\cos\alpha) - 2rf.$$

Учитывая, что величина p_0 почти всегда значительно превышает величину q_0, на основании уравнения (2) заключаем: а) значение давления P на ноги щита в основном определяется углом τ; б) изменяя угол τ, можно в широких пределах изменить значение давления P.

При пользовании формулой (6) необходимо знать величину давления кровли q на породную подушку. Давление кровли может быть определено одним из известных аналитических способов или на основании данных замеров.

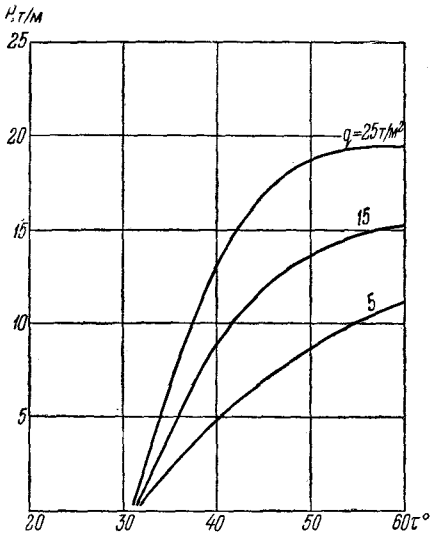


Рис. 7. Диаграмма зависимости давления на ноги щита от угла τ и давления кровли

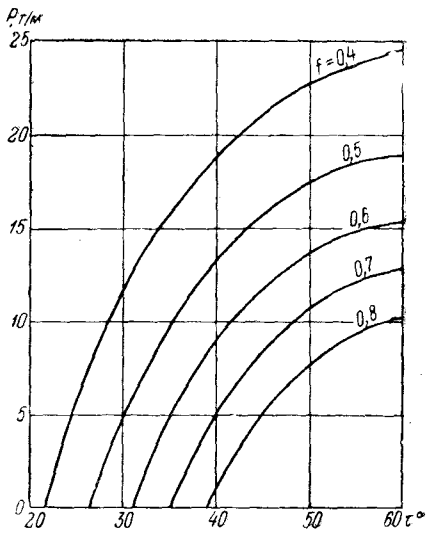


Рис. 8. Диаграмма зависимости давления на ноги щита от угла τ и коэффициента трения f щита о почву пласта

В течение последних 10—15 лет в Донбассе и других районах было произведено большое число замеров давления кровли на крепь в очистных забоях при различных условиях и способах разработки. Эти замеры дают наиболее правильное представление о величине давления, поэтому определение давления по данным замеров в аналогичных условиях следует считать более целесообразным. Так, согласно данным ДонУГИ, давление кровли на забойщицкую крепь в лавах на шахтах Донбасса при пологом падении пластов обычно составляет 15—20 $т/м^2$ и, как правило, не превышает 30 $т/м^2$. При крутом падении давление кровли на крепь меньше

$$q_к = q_п \cos \alpha,$$

где $q_к$ — давление на крепь при крутом падении пласта;
$q_п$ — давление на крепь при пологом падении пласта;
α — угол падения пласта.

Диаграмма зависимости давления P на ноги самотормозящего щита от угла τ и давления q кровли на породную подушку показана на рис. 7. При расчетах принято:

$$\gamma = 1{,}7 \ т/м^3, \quad \xi = 0{,}35, \quad \alpha = 60°, \quad m = 2{,}5 \ м, \quad f = 0{,}6.$$

На рис. 8 приведена диаграмма зависимости давления P на ноги щита от угла τ и коэффициента трения щита о почву пласта f. Расчеты произведены для пласта мощностью 2,5 $м$ при $\alpha = 60°$

$$q = 15\ т/м^2,\quad \xi = 0{,}35 \text{ и } \gamma = 1{,}7\ т/м^3.$$

На рис. 9 показаны графики изменения давления P на ноги щита в зависимости от угла τ и мощности пласта для угла падения 60°

$$\gamma = 1{,}7\ т/м^3,\quad q = 15\ т/м^2,\quad f = 0{,}6 \text{ и } \xi = 0{,}35.$$

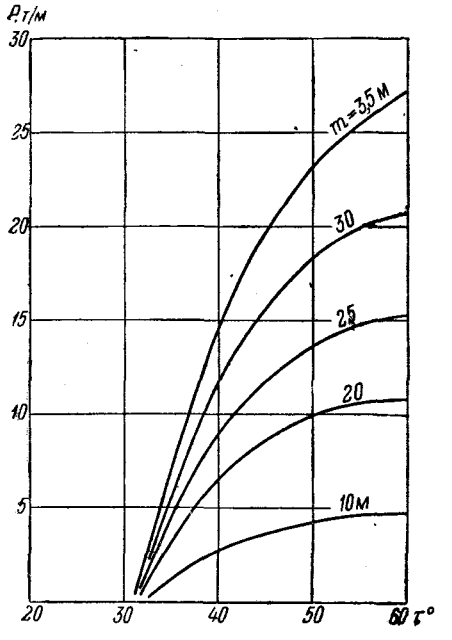


Рис. 9. Диаграмма зависимости давления на ноги щита от угла τ и мощности пласта

Диаграмма зависимости давления P на ноги щита от угла τ и угла падения пласта α приведена на рис. 10. При расчетах принято:

$$\gamma = 1{,}7\ т/м^3,\quad \xi = 0{,}35,\quad f = 0{,}6,$$

$$m = 2{,}5\ м \text{ и } q = 30 \cos\alpha\ т/м^2.$$

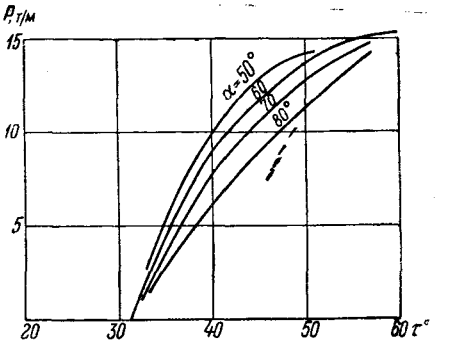


Рис. 10. Диаграмма зависимости давления на ноги щита от угла τ и угла падения пласта

Все приведенные графики показывают, что при увеличении угла τ от 30 до 50° давление P на ноги щита резко возрастает. При дальнейшем увеличении угла τ возрастание давления P замедляется. Очевидно, наиболее целесообразно принимать значение угла τ в пределах 35—45°.

При наличии вибраторов величину угла τ можно принимать 30—35°. При отсутствии вибраторов, для обеспечения наиболее надежной работы щита, угол τ следует брать 40—45°.

Большое значение для обеспечения надежного передвижения щита вниз имеет величина коэффициента трения между щитом и почвой пласта.

Необходимо учитывать, что трение покоя больше трения движения, поэтому давление на ноги щита при движении его будет больше, чем при неподвижном состоянии. При небольших величинах угла τ для преодоления трения покоя во время трогания щита с места необходимо пользоваться вибраторами.

5. Предохранение породной подушки от засорения

Во всех указанных щитах одной из основных частей является породная подушка. Чтобы обеспечить нормальную работу щита, необходимо сохранить подвижность породной подушки в течение всего периода отработки полосы. Для этого нужно предохранить ее от засорения мелкой

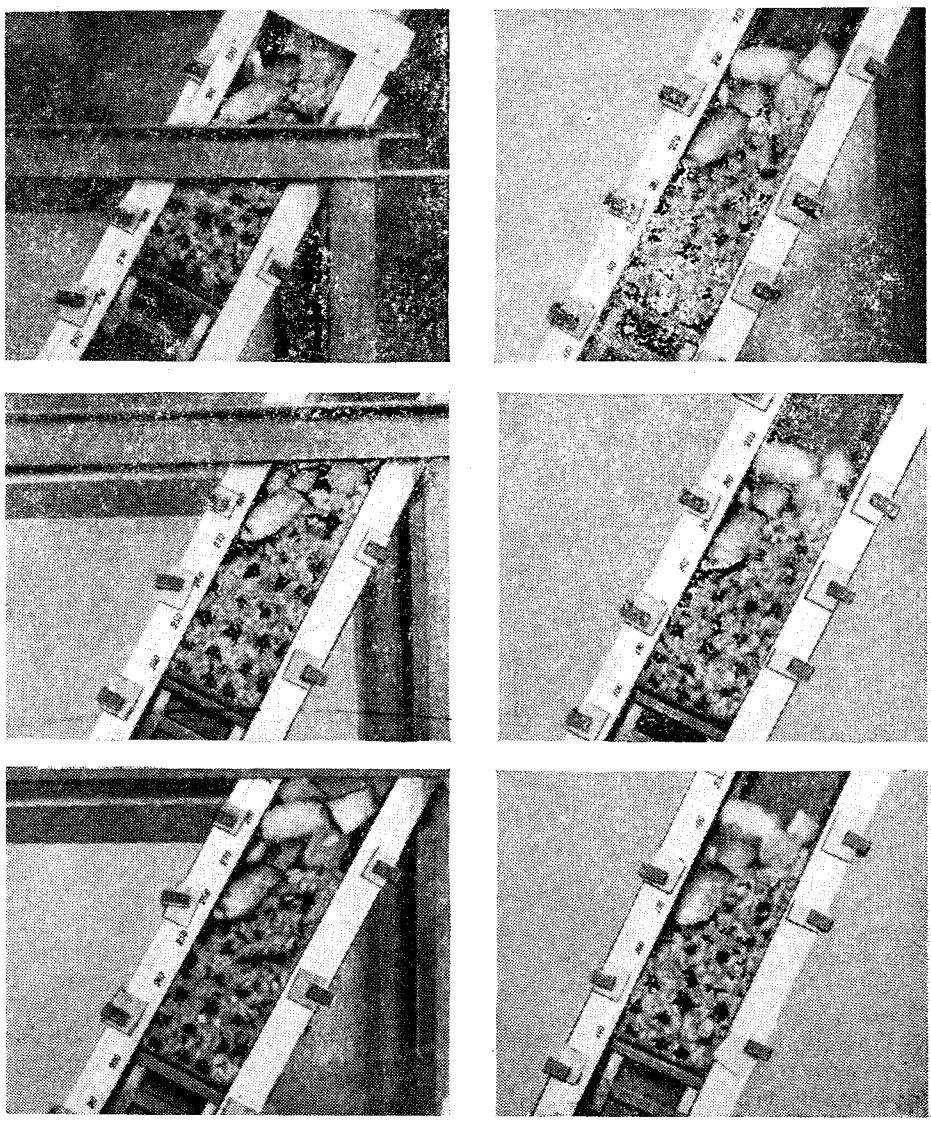


Рис. 11. Перемещение частиц породной подушки при моделировании

породой, которая может вызвать слеживание материала, сводообразование и как следствие — отрыв породной подушки от щита.

Если для щитов с составной породной подушкой (см. рис. 4) это требование не является особо важным, то для щитов с обычной породной подушкой (см. рис. 2, 3) оно обязательно.

Существует опасение, что при опускании щита в результате перемещения частиц породной подушки сами частицы перемешаются с кусками породы, упавшими сверху вследствие обрушения кровли. Если порода мелкая, с значительной примесью глины, то степень подвижности породной подушки значительно снизится. Для выяснения этого явления были произведены наблюдения за перемещением частиц породной подушки при опускании ее вниз вслед за щитом. Наблюдения проводились на модели отработки пласта мощностью 2,0 *м* и угле падения 60°. Масштаб модели был принят 1 : 10. Длина по падению отрабатываемого участка составляла 25 *м*, по простиранию 5 *м*. Породная подушка состояла из дробленой каменной соли с размером кусков от 10 до 25 *мм*. Для лучшего выявления взаимного перемещения частиц породной подушки некоторые из них были окрашены черной тушью (рис. 11). «Почва» и «кровля» пласта были оклеены песком (размер отдельных песчинок до 3—4 *мм*). Опорой породной подушке служил деревянный щит. Через каждые 2—3 *м* продвижения щита вниз расположение частиц породной подушки фиксировалось фотоаппаратом.

Наблюдениями установлено, что в процессе общего продвижения вниз частицы породной подушки, расположенные в различных местах по мощности пласта, перемещались с различной скоростью. Частицы, расположенные непосредственно у лежачего бока пласта, вследствие трения о почву перемещались вниз медленнее — как бы несколько отставали от общего движения подушки. В результате этого возникали незаполненные пространства между этими частицами, куда устремлялись частицы, расположенные выше, что в свою очередь вело к образованию пустот у висячего бока пласта. Трение между верхними частицами породы и кровлей пласта уменьшалось и они передвигались вниз вдоль кровли с несколько большей скоростью, чем вся подушка.

Следует отметить, что в модели давление кровли отсутствовало. При наличии его схема перемещения частиц в основном сохранится, но вследствие возрастания трения между кровлей и верхними частицами опережение последних соответственно замедлится.

Общая схема взаимного перемещения частиц породной подушки показана стрелками на рис. 12. В нижней части подушки *4* образуется зона «покоя» *абв*, в которой относительное перемещение частиц практически можно считать отсутствующим. Угол, образованный верхней гранью зоны «покоя» с плоскостью щита *1*, зависит от величины угла падения пласта, внутреннего трения породной подушки, наличия вибраций.

В процессе движения верхняя поверхность породной подушки приобретает форму *гд* (рис. 12, *а*). При этом угол β также определяется величиной внутреннего трения частиц породы и характером движения всей системы — наличием вибраций. При моделировании движения породной подушки без вибраторов величина угла β не превышала 20—25°. Очевидно, при наличии вибраторов величина угла β уменьшится.

Наблюдениями отмечено, что в процессе перемещения породной подушки происходит медленное разделение частиц по крупности: более мелкие сосредоточиваются в нижней части подушки и у почвы пласта, крупные — у кровли и в верхней части породной подушки.

Таким образом, в процессе опускания породной подушки внутри ее происходит относительное перемещение частиц породы по замкнутой траектории. При этом степень подвижности породной подушки будет оставаться постоянной. Но после обрушения кровли обрушенные породы,

расположенные на поверхности породной подушки, будут увлечены в общий круговорот движения частиц. При этом состав и свойства породной подушки могут существенно измениться.

При наличии в висячем боку пласта крепких пород обрушение их будет происходить в основном крупными плитообразными глыбами, которые не могут быть увлечены внутрь породной подушки. Они останутся на ее поверхности и вместе с ней будут опускаться вниз. При этом нельзя ожидать существенного изменения состава породной

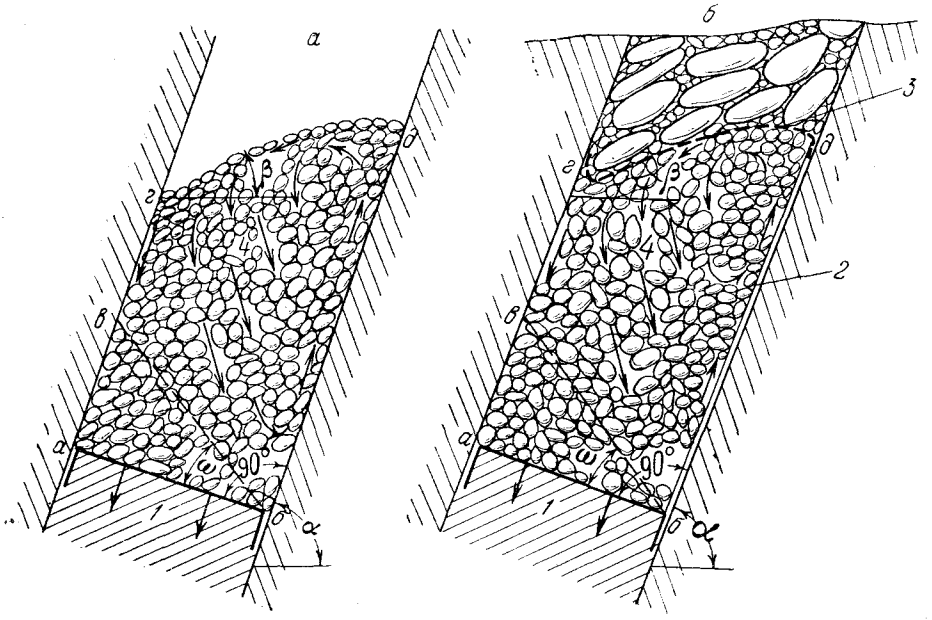


Рис. 12. Схема перемещения частиц породной подушки при движении ее вниз

подушки за сравнительно короткий период отработки полосы, и требуемая для нормальной работы степень подвижности ее может сохраниться до конца отработки.

Значительно хуже будет положение, если породы кровли при обрушении образуют большое количество мелочи с значительным содержанием глинистых фракций. В этом случае обрушенная мелочь будет увлечена частицами породной подушки в общий круговорот, траектории движения частиц выйдут за пределы породной подушки и ее состав претерпит существенные изменения, в результате которых степень ее подвижности снизится. Это может привести к сводообразованию и отрыву породной подушки от щита.

Наблюдения на моделях за формой породной подушки и относительным перемещением частиц указывают, что этого можно избежать, исключив возможность выхода траекторий перемещения частиц породной подушки за ее пределы. Для этого при монтаже щита необходимо сразу придать поверхности породной подушки форму *гд* (рис. 12, *б*), которую она принимает во время движения, и перекрыть ее предохранительным ковриком *3*. Коврик изготовляется из обычной проволочной сетки. Нижняя часть его загнута и образует небольшую манжету у кровли пласта. Учитывая, что под действием перемещающихся частиц породной подушки коврик будет стремиться сползти от почвы к кровле пласта, его необходимо крепить у лежачего бока к щиту при помощи тяг *2*, представ-

ляющих собой канаты или стержни. Порода будет прижимать тяги к лежачему боку, что исключит возможность отодвигания их от почвы пласта.

Таким образом, применение коврика *3* определяет замыкание траекторий движения частиц внутри породной подушки и тем самым исключает ее засорение и сохраняет необходимую степень подвижности породы до конца отработки полосы.

Наблюдения на моделях показывают, что даже при наличии местных неплотностей такие перекрытия ковриком породной подушки у кровли пласта резко уменьшают засорение породной подушки. Засорение ее в таком случае вряд ли может достичь опасных размеров.

Как указано выше, причиной неравномерного перемещения частиц породной подушки является ее трение о почву пласта. Чем меньше угол падения пласта, тем больше трение породы о почву и взаимное перемещение частиц. Поэтому интенсивность засорения породной подушки будет возрастать при уменьшении угла падения пласта и увеличения трения породной подушки о почву пласта.

Следовательно, снижая трение породной подушки о почву пласта, можно уменьшить взаимное перемещение частиц, а значит уменьшить ее засорение. Для этого следует применить вибраторы. Приводя в вибрирующее состояние хвостовую балку (см. рис. 3, 4), вибрации будут передаваться породной подушке. При этом более интенсивно будет вибрировать слой породы, расположенный вблизи хвостовых балок, который непосредственно примыкает к почве пласта. Слой же породы у кровли пласта, более удаленный от балок, получит значительно меньшую вибрацию. Известно, что вибрации резко снижают трение между частицами породы. Поэтому приведение в вибрирующее состояние породной подушки резко уменьшит трение ее о почву и кровлю пласта. Так как частицы породной подушки, расположенные у почвы пласта, будут вибрировать значительно интенсивнее, чем частицы у кровли, то и трение породной подушки о почву будет уменьшено в большей степени, чем трение о кровлю. В результате «отставание» частиц породы у почвы пласта будет резко уменьшено, что приведет к существенному уменьшению взаимного перемещения частиц породной подушки и тем самым значительно снизит интенсивность ее засорения.

Следует полагать, что, применяя вибраторы совместно с предохранительным ковриком, можно вполне обеспечить необходимую степень подвижности породной подушки на весь период отработки полосы.

Передачу вибраций породной подушке наиболее рационально производить через расположенные у почвы пласта хвостовые балки. Это резко уменьшит трение породной подушки о почву пласта и, наряду с предохранением ее от засорения, обеспечит наиболее надежное передвижение всей системы вниз.

6. Особые случаи применения щитов

Перечисленные выше щиты могут быть использованы и при разработке мощных крутопадающих пластов угля наклонными слоями с закладкой выработанного пространства. Порядок отработки слоев может быть как восходящий, так и нисходящий. Толщина слоев принимается равной 2—4 *м*, и они отрабатываются полосами по падению аналогично пластам тонким и средней мощности (рис. 13). Работы в очистном забое производятся под прикрытием Г-образного щита (см. рис. 3, 4, 5). Длина очистного забоя может быть принята равной 50—100 *м* и больше, исходя из условий проветривания и геологических факторов. Этаж вер-

тикальной высотой 100—150 *м* подготавливается полевыми штреками, расположенными в почве пласта на небольшом от него расстоянии. Закладка самотечная. Порода для закладки подается по квершлагам, соединяющим пласт с вентиляционным штреком. Возможна также отработка пласта с перепуском закладки. Ввиду отсутствия крепи в отработанном пространстве качество закладки будет весьма высоким.

Вид очистного забоя при отработке слоев в восходящем порядке показан на рис. 13. Каждый отработанный слой отделяется от соседнего

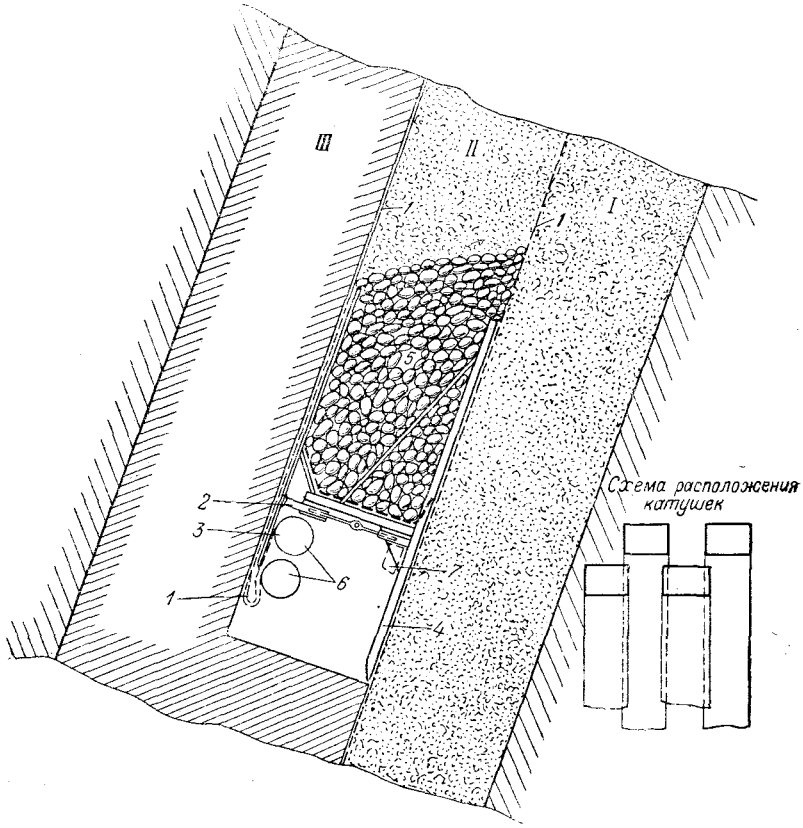


Рис. 13. Схема отработки мощного крутопадающего пласта наклонными слоями в восходящем порядке:
1 — проволочная сетка; 2 — распорная стойка; 3 — лыжа; 4 — опорная нога; 5 — породная подушка; 6 — катушка; 7 — вибраторы

стенкой из проволочной сетки *1*. Это исключает высыпание закладочного материала в рабочее пространство очистного забоя и позволяет производить отработку наклонных слоев в восходящем порядке при любой величине угла падения, при котором только возможно применение щитов.

Г-образная форма щита позволяет производить в этих условиях настилку сетки без особых трудностей. Для этого к распорным стойкам *2* подвешиваются два ряда катушек *6* с таким расчетом, чтобы четные катушки немного перекрывали нечетные. На катушки наматываются полосы проволочной сетки *1*.

По мере опускания щита, вращая катушки, сетку укладывают на почву пласта и прижимают лыжами *3*. Нечетные полосы сетки

будут перекрывать четные, что обеспечит достаточную плотность всего настила. Правильное расположение полос сетки значительно облегчается передвижением щита в строго вертикальном направлении.

Для исключения стягивания сетки *1* лыжами *3* необходимо, чтобы внешняя поверхность последних была гладкая. Из этих же соображений следует применять тканевую сетку с гладкой поверхностью. Можно практиковать периодическое прикрепление сетки к кровле при помощи планок и штырей, забиваемых в специально пробуренные шпуры. Чтобы полностью исключить возможность стягивания сетки лыжами, необходимо между сеткой и лыжами уложить тонкие доски или горбыли. Горбыли заводятся через пространство между катушками *6* и раздвижными стойками *2* и укладываются под нижний конец лыжи *3* на расстоянии 1,0 *м* друг от друга. Для облегчения этой работы несколько раздвигают свисающие полосы сетки.

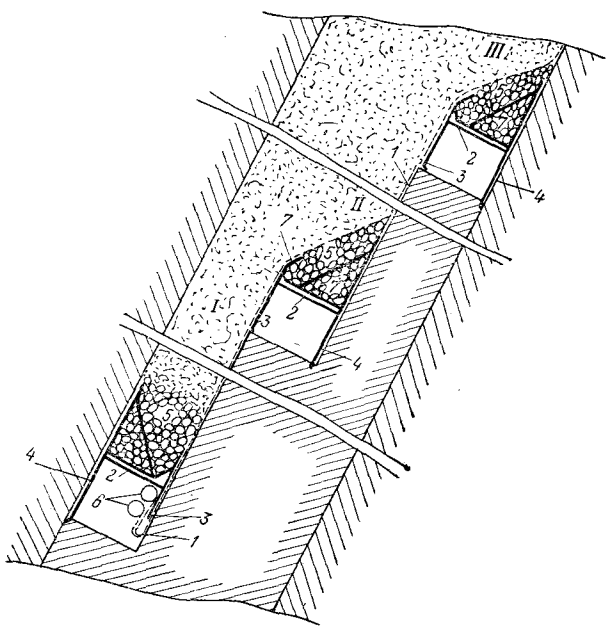


Рис. 14. Схема отработки мощного крутопадающего пласта наклонными слоями в нисходящем порядке:
1 — проволочная сетка; *2* — распорные стойки; *3* — лыжи; *4* — опорные ноги; *5* — породная подушка верхняя; *6* — катушки; *7* — породная подушка нижняя

На рис. 14 показана схема отработки слоев в нисходящем порядке. Так же, как и в предыдущем случае, работы в очистном забое производятся под прикрытием Г-образного щита. Специфической особенностью этого варианта является то, что отработка всех слоев производится под прикрытием одного и того же настила из проволочной сетки, укладываемой на почву первого (верхнего) слоя. Поэтому при отработке верхнего слоя щит монтируется так, чтобы опорные ноги *4* его были расположены у кровли пласта, а лыжи *3* — у почвы слоя, что допускается конструкциями щитов, приведенными на рис. 4 и 5.

Отработка верхнего слоя производится обычным образом. При этом на почве слоя настилается сетка *1*, сматываемая с катушек *6* так же, как и в предыдущем случае. Учитывая, что эта сетка будет использована при отработке всех остальных слоев, ее изготовляют более прочной.

При отработке всех последующих слоев щит располагается обычным способом — опорными ногами *4* к почве слоя. По мере отработки каждого слоя и опускания щита сетка *1* огибает лыжи *3*, породную подушку *5* и ложится на кровлю следующего слоя. Для обеспечения более плавного перехода сетки *1* со слоя на слой задняя часть лыж *3* делается изогнутой, а поверхности породных подушек *5* придается наклон под углом 45° к почве слоя.

Ширина лыж принимается такая, чтобы они перекрывали всю кровлю слоя, что обезопасит рабочее пространство от просыпания породы.

С целью уменьшения трения между сеткой и лыжами последние располагаются под тупым углом к стойкам. Это облегчит передвижение щита вниз.

Одновременно можно производить отработку нескольких слоев с опережением на 15—20 *м* каждого верхнего из них, что повышает интенсивность отработки пласта.

Конструкция применяемых Г-образных щитов позволяет регулировать ширину его на 0,5 *м*. Это обеспечивает возможность разработки пластов без потерь по мощности (с местными изменениями ее на 15—20%) посредством соответствующего изменения толщины слоев. Уменьшая толщину слоев до 2,0 *м*, можно полностью отрабатывать пласты с колебанием мощности до 25%.

Применение указанных щитов дает возможность также производить разработку с обрушением кровли или с закладкой только верхнего слоя, если позволяют условия пожароопасности и взаиморасположения пластов.

Таким образом, разработка мощных крутопадающих пластов наклонными слоями с отработкой их полосами по падению под прикрытием Г-образных щитов имеет следующие преимущества:

1) исключение наиболее тяжелой и трудоемкой работы в очистном забое — ручного возведения крепи;

2) бóльшее удобство и безопасность работ в очистном забое, связанное с горизонтальным расположением забоя и наличием прочного щита;

3) бóльшая производительность забоя и рабочих;

4) исключение потерь угля по мощности пласта;

5) высокая интенсивность отработки пласта за счет одновременной отработки нескольких слоев и возможности применения длинных очистных забоев.

Недостатки, связанные с незначительной шириной очистного забоя (3—4 *м*), компенсируются за счет:

1) возможности применения более длинных забоев, что наряду с увеличением их производительности дает меньшие потери угля, оставляемого между полосами;

2) меньшего давления на щит, обеспечивающего большую надежность его в работе.

Выводы

Горизонтальное расположение очистного забоя и отработка пласта полосами по падению значительно облегчают создание простой и работоспособной щитовой крепи.

С целью уменьшения нагрузки на элементы щита, уменьшения расхода металла и обеспечения наиболее надежной работы следует предпочитать гибкие щиты, состоящие из опорных рам или коротких секций (0,5—1,0 *м*), соединенных гибкой связью.

При мощности пластов от 0,6—0,8 до 3,0—4,0 *м* наиболее целесообразно применение Г-образных щитов (см. рис. 3, 4 и 6).

П-образные щиты (см. рис. 2) являются менее рациональными, вследствие их чрезмерной громоздкости и трудного управления ими при опускании.

Предлагаемая щитовая крепь может быть применена при разработке крутопадающих пластов мощностью от 0,6—0,8 до 3,0—4,0 *м*, при угле падения больше 50—55° и при боковых породах средней крепости и крепких.

Эти условия имеются на большом числе шахт Донбасса, Кузбасса и Урала, что указывает на возможные перспективы широкого применения такого рода щитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балбачан Я. И. Проходка шахт в плывунах при помощи вибрации. Углетехиздат, 1947.
2. Барканд Д. Д. Устройство оснований сооружений с применением вибрирования. Машстройиздат, 1949.
3. Горбачев Г. Ф. Пути совершенствования систем разработки мощных пластов южного Кузбасса, Углетехиздат, 1949.
4. Гойхман Г. И. Разбор систем разработки угольных месторождений Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1950.
5. Геронтьев В. И. Методы закладки выработанного пространства. Углетехиздат, 1948.
6. Давидянц В. Т. Движение боковых пород при разработке угольных пластов в Донецком бассейне. Углетехиздат, 1948.
7. Давидянц В. Т. Управление кровлей на крутопадающих пластах Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1949.
8. Махно Е. Я. Разработка тонких и средней мощности крутопадающих пластов без применения деревянной крепи. Записки Ленинградского горного института, т. XXVII, вып. 1, 1952.
9. Некрасовский Я. З. Разработка пластов, подверженных внезапным выбросам угля и газа. Углетехиздат, 1951.
10. Парусимов В. Ф. и Новиков К. П. Система разработки каменноугольных пластов Кузбасса. Углетехиздат, 1950.
11. Протодьяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. Госгориздат, 1933.
12. Родборт С. С. и Сизов В. М. Опыт бурения скважин сбоечно-буровой машиной СБМ-3у с армированием устья. Углетехиздат, 1952.
13. Слесарев В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1952.
14. Степанов И. Н. Передвижное крепление очистных забоев. Углетехиздат. 1951.
15. Пытович Н. А. Механика грунтов. Стройиздат, 1951.
16. Чинакал Н. А. Система разработки с щитовым креплением. Гостоптехиздат, 1943.
17. Яровой И. М. Руководство по разработке пластов, опасных по выбросам угля и газа. Углетехиздат 1949.

Поступило 25/IX 1952 г.