Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, том XXX, вып. I, 1955 г.

РАЗРАБОТКА ВЕСЬМА МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБКИХ ЩИТОВ

Доц. Е. Я. Махно

Введение

Значительное увеличение добычи угля в СССР, планируемое на ближайшие два-три пятилетия, повышение общего уровня техники горного дела требуют совершенствования существующих и создания новых, более рациональных систем разработки угля.

Наибольшие трудности в угольной промышленности представляет разработка мощных крутопадающих пластов.

Разработка мощных пластов обычно вызывает большие трудовые затраты, значительный расход леса и влечет за собой бóльшие потери угля, чем при разработке пластов средней мощности. Случаи самонагревания угля и подземных пожаров чаще происходят при разработке мощных пластов. Поэтому производятся значительные материальные затраты на проведение профилактических мероприятий и тушение пожаров, что увеличивает себестоимость угля и часто приводит к весьма значительным потерям полезного ископаемого.

Применяющиеся в настоящее время системы разработки мощных крутопадающих пластов можно разделить на две группы:

1) системы разработки, предусматривающие деление пласта на слои (наклонные, горизонтальные и поперечно-наклонные);

2) системы, предусматривающие разработку пласта сразу на полную мощность, без разделения на слои (щитовая система проф. Н. А. Чинакала, система ВУГИ и др.).

При системах первой группы мощный пласт делится на слои толщиной до 3,0—3,5 *м*. Каждый слой при этом отрабатывается обособленно как пласт средней мощности. Таким образом, здесь не используются преимущества, вытекающие из наличия большой мощности пласта. Наоборот, мощный пласт преднамеренно разделяется как бы на ряд пластов средней мощности.

Необходимость деления пласта на слои объясняется тем, что с увеличением мощности пласта и высоты рабочего пространства крепление очистных забоев и управление горным давлением представляют все бо́льшие и бо́льшие трудности.

Наиболее старым способом поддержания рабочего пространства в очистном забое является применение стоечной крепи.

Но крепление очистных забоев стойками может применяться при высоте рабочего пространства (мощности пласта) не более 3,5—4,0 *м*. Поэтому разделение мощного пласта на слои должно рассматриваться

как вынужденная искусственная операция, цель которой — сделать возможным применение стоечной крепи для крепления очистных забоев и управления горным давлением.

Анализ современного состояния техники угледобычи показывает, что основным недостатком существующих методов разработки угольных пластов является применение стоечной крепи в очистных забоях. В этом случае крепление очистных забоев производится исключительно ручным способом и представляет наиболее трудоемкую и опасную операцию. Так, при разработке крутопадающих пластов трудовые затраты на возведение стоечной крепи, доставку леса и управление горным давлением обычно составляют до 60—80% общих трудовых затрат в очистном забое.

Из числа основных операций по добыче угля крепление является единственной операцией, которая до сих пор производится ручным способом, что тормозит дальнейшее развитие техники угледобычи, определяет низкую производительность труда рабочих и незначительную интенсивность отработки пластов.

Для обеспечения высоких темпов развития добычи угля в СССР, совершенствования техники угледобычи и повышения культуры труда наиболее важным является решение вопроса ликвидации ручного крепления очистных забоев. Необходимо применить более совершенные способы крепления и управления горным давлением, способные обеспечить безопасность работ, резко увеличить производительность труда рабочих и интенсивность отработки пластов.

В свете указанного следует считать, что по своему существу системы, предусматривающие разработку мощных пластов сразу на полную мощность, без разделения на слои, являются более совершенными и перспективными. При этих системах разработки применение возводимой вручную стоечной крепи само собой исключается, что является основным фактором, обеспечивающим высокую эффективность систем.

Каждый рациональный метод разработки должен в первую очередь предусматривать возможно большее использование всех естественных факторов, определяющихся физико-механическими свойствами пород и условиями их залегания. В этом отношении весьма важным фактором является большая мощность пласта. Между тем, при разработке пластов с разделением на слои преимущества, вытекающие из наличия большой мощности пласта, не используются. Наоборот, в этом случае большая мощность пласта является нежелательным фактором. Чем мощнее пласт, тем сложнее и труднее его разрабатывать с разделением на слои, тем отработка его происходит медленнее, возрастает опасность самовозгорания угля. Это является следствием порочности самой системы разработки с разделением пласта на слои.

Факт наличия большой мощности пласта можно и необходимо использовать в направлении повышения интенсивности отработки месторождений и снижения затрат на добычу угля. Поэтому в совершенствовании методов разработки мощных пластов наиболее перспективным направлением следует считать улучшение известных и создание новых систем, предусматривающих отработку пластов без разделения на слои, с максимальным использованием естественных факторов (большой мощности пластов, крутого падения и пр.).

В Советском Союзе ведется большая работа по созданию и освоению новых систем разработки мощных пластов угля. Крупным достижением советской горной техники является щитовая система проф. Н. А. Чинакала. Она получила широкое применение на шахтах Кузбасса.

Решающим фактором, определившим высокую степень надежности работы щита проф. Н. А. Чинакала, быстрое и широкое внедрение этого щита в горную промышленность, является направление его движения вниз по падению пласта.

Проектируя щитовую крепь, проф. Н. А. Чинакал одновременно создал и оригинальную систему разработки, предусматривающую отработку крутопадающих пластов полосами по падению.

Система проф. Н. А. Чинакала дает возможность в максимальной степени использовать вес вышележащих пород и щита для передвижения последнего. В данном случае естественное перемещение обрушившихся пород не мешает передвижению щита, а, наоборот, помогает ему. Это определило простоту конструкции щита и успех его применения.

Такое совместное решение задачи создания эффективной щитовой крепи и системы разработки представляет яркий пример решения одного вопроса во взаимосвязи со смежными.

Конструкция щита и система разработки проф. Н. А. Чинакала непрерывно совершенствуются. Создан ряд новых вариантов щитов и способов разработки: гибкий щит проф. Н. А. Чинакала, щит инж. Евсеева, щит для особо мощных пластов КузНИУИ, методы разработки с полной закладкой выработанного пространства, применение оградительных решеток и др.

Работы по совершенствованию этого способа разработки должны непрерывно производиться и в дальнейшем с привлечением возможно большего числа работников производства, проектных и научных организаций. При этом следует особое внимание обратить на снижение потерь полезного ископаемого, уменьшение пожароопасности, расширение области применения этого прогрессивного метода работ.

Предлагаемая работа представляет попытку освещения вопросов, связанных с совершенствованием конструкции щитов и возможностью применения их при разработке крутопадающих весьма мощных пластов.

1. Гибкий щит для отработки крутопадающих пластов большой мощности

В настоящее время применяются два рода щитов — секционные и гибкие. Общий вид секционного щита показан на рис. 1. Он состоит обычно из четырех жестких секций, длиной 6 *м* каждая, соединенных между собой гибкой связью, и применяется для отработки пластов мощностью от 3,0—3,5 до 8,0—9,0 *м*. Известны случаи отработки секционными щитами пластов мощностью до 10—12 *м*.

Гибкие щиты состоят только из одной секции длиной 25—30 *м* и больше и представляют более новую конструкцию щитов проф. Н. А. Чинакала. Они обладают гибкостью в продольном направлении (по простиранию пласта), что позволяет делать их более легкими. Расход леса и металла при гибких щитах в 2—3 раза меньше, чем при щитах секционных.

Гибкие щиты применяются для отработки пластов мощностью от 3,0—3,5 до 6,0 *м*.

Необходимо отметить, что эти щиты, обладая гибкостью только в продольном направлении, являются жесткими в поперечном направлении — вкрест простирания пласта, поэтому правильнее их называть не гибкими, а полугибкими щитами.

Как те, так и другие щиты имеют строго определенные размеры ширины, устанавливаемые по наименьшей мощности пласта, что ограничи-

вает область их применения. Поэтому секционные и гибкие щиты можно применять только при строго выдержанных по мощности пластах, так как в противном случае потери угля достигнут недопустимо большой величины.

Между тем на практике весьма часты случаи, когда мощность пласта изменяется в пределах этажа на 15—20%. Это усложняет горные работы. Приходится или допускать большие потери угля или применять щиты только на отдельных участках с наиболее благоприятным залеганием

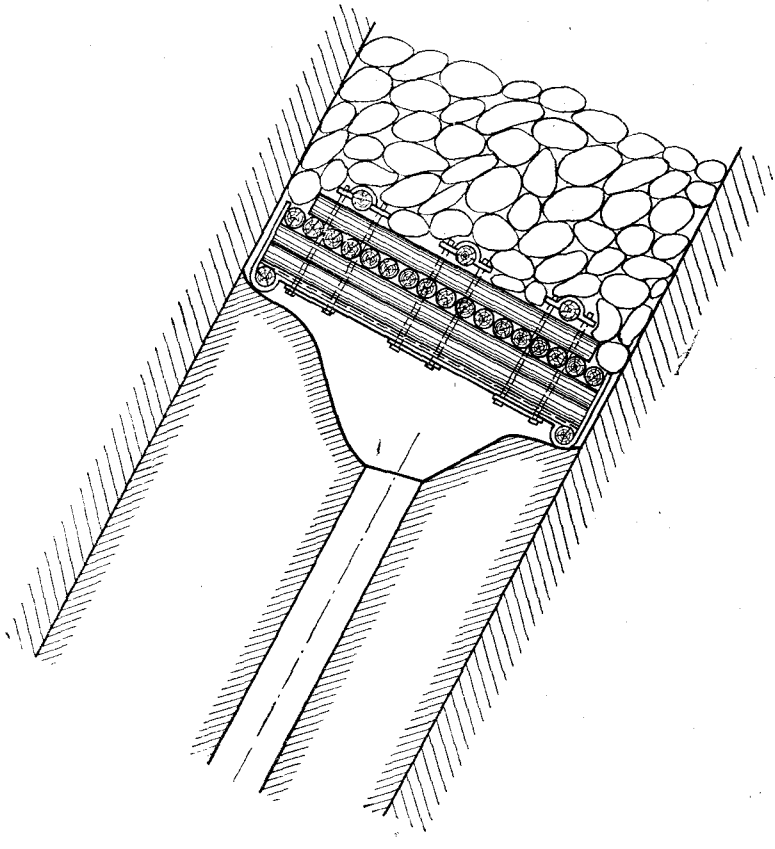


Рис. 1. Жесткий секционный щит

пласта, а отработку оставшихся участков производить другими менее производительными способами. Для исключения указанных неудобств и расширения области применения щитов необходимо разработать такую конструкцию, которая позволяла бы отрабатывать участки с местными изменениями мощности пласта без увеличения потерь угля.

Вторым важным вопросом является разработка пластов мощностью более 10—12 *м*. Как указывалось выше, в настоящее время щиты применяются главным образом при разработке пластов мощностью до 8 и реже до 10—12 *м*.

При мощности же более 10—12 *м* пласты отрабатываются горизонтальными или поперечно-наклонными слоями с применением деревянной стоечной крепи, что требует больших трудовых затрат, значительно повышает себестоимость угля и снижает производительность участков.

Отработка весьма мощных пластов в разрабатываемой свите обычно надолго затягивается, в результате на шахте создается нетерпимое положение, когда на этаже остаются неотработанными только мощные пласты. Это расстраивает общий план работы шахты, приводит к многогоризонтности и, следовательно, дополнительным затруднениям.

Указанных трудностей можно избежать, применив щитовую крепь и для разработки весьма мощных пластов, тем более, что с увеличением мощности пласта эффективность применения щитов должна возрасти, так как при этом увеличивается производительность разработки и снижаются потери угля.

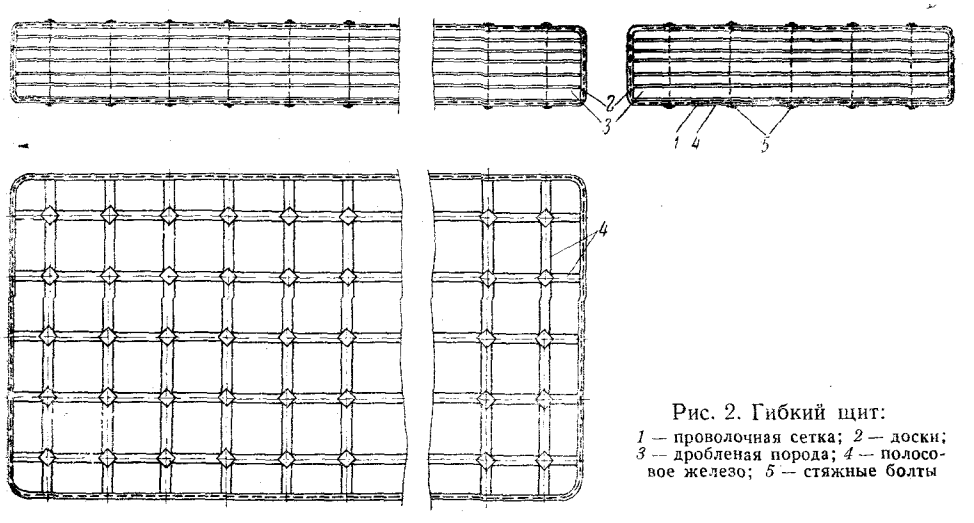


Рис. 2. Гибкий щит:
1 — проволочная сетка; *2* — доски; *3* — дробленая порода; *4* — полосовое железо; *5* — стяжные болты

Поэтому вопрос изменения конструкции щитов с учетом возможности применения их при разработке пластов мощностью более 10—12 *м* является в настоящее время также весьма актуальным.

Два вопроса, приведенных выше, могут быть в значительной мере разрешены созданием щита, гибкого не только в продольном, но и в поперечном направлении, и путем соответствующего изменения в способах отбойки и доставки угля.

На рис. 2 показан один из возможных вариантов конструкции такого гибкого щита.

Щит состоит из слоев мелкой дробленой породы *3*, разделенных деревянными досками *2* и заключенных в прочную оболочку *1* из проволочной сетки. В поперечном и продольном направлениях щит снабжен обвязкой *4* из стальных канатов или железных полос и стянут болтами *5*. В таком виде щит имеет тюфякообразную форму и обладает большой прочностью и гибкостью во всех направлениях.

В нагруженном состоянии оболочка и обвязка щита будут воспринимать растягивающие усилия, а порода — заполнитель щита — воспримет сжимающие усилия, поэтому заполнение щита мягкой породой недопустимо. Нежелательно также и заполнение щита весьма мелкой, легко слеживающейся породой. Лучше всего для этой цели брать дробленую крепкую породу с размером кусков в пределах 20—50 *мм*.

В процессе работы щит будет многократно перегибаться в различных направлениях, при этом порода может перемещаться в поперечном направлении, создавая местами раздутия щита, а местами уменьшение его толщины. Это может привести к ослаблению стяжных болтов и как

следствие — к уменьшению несущей способности щита. Чтобы предотвратить пересыпание, порода плотно укладывается в щите слоями толщиной не более четырех- или пятикратного размера кусков.

Для обеспечения гибкости щита деревянные доски, разделяющие слои, берутся толщиной не более 10—15 *мм*.

Таким образом, разделенная на тонкие слои порода-заполнитель будет зажата между досками, что, ввиду значительного трения между ними, исключает возможность поперечных перемещений породы.

Целесообразно было бы испытать возможность использования в качестве материала для заполнения щита деревянных обрезков размером до 100 × 100 или 150 × 150 *мм*. При меньшей прочности на сжатие по сравнению с крепкой породой дерево обладает значительной упругостью и способностью восстанавливать свою первоначальную форму после снятия нагрузки. Опыты, проведенные канд. техн. наук М. Ш. Гариповым в лаборатории Ленинградского горного института, показали, что костер из деревянных брусьев, сжатый под прессом до половины своей высоты, после снятия нагрузки постепенно увеличивается по высоте почти до первоначальных размеров.

Следует полагать, что такого рода щит, заполненный деревянными обрезками, будет обладать достаточной несущей способностью и в то же время будет более упругим и легким.

Как указывалось выше, для придания несущей способности щит стягивается болтами (диаметром 22—25 *мм*), расположенными в месте пересечения продольной и поперечной связок (рис. 2). В зависимости от величины ожидаемой нагрузки, толщина щита должна составлять 0,7—1,2 *м*, что и определяет длину стягивающих болтов.

Расстояние между болтами принимается в пределах 1,0—1,5 *м*. Для обвязки щита могут быть использованы стальные канаты толщиной 15—18 *мм* или полосовое железо. С целью упрощения и удешевления щита обвязку его лучше производить полосовым железом.

Оболочка должна обладать большой прочностью и не пропускать мелких частей породы. Этим требованиям удовлетворяет тканая сетка, так называемое «стальное полотно», изготовленная из проволоки толщиной 1,6—2 *мм*. [1]

Для предохранения проволок от истирания о почву и кровлю пласта торцевые поверхности щита следует обшить листами железа так, чтобы края листов выступали выше поверхности щита, образуя так называемые «манжеты». Вышележащей обрушенной породой манжеты будут прижиматься к почве и кровле пласта, и тем самым исключается возможность просыпания мелкой породы под щит. Ширина манжет у кровли пласта может быть принята равной 0,7—1,0 *м*, а у почвы пласта, во избежание зажатия породой, она не должна превышать 0,3—0,5 *м*.

Основным достоинством описанной выше конструкции щита является высокая степень его гибкости. Щит может изгибаться в любых направлениях, что облегчает управление им и обеспечивает большую прочность его в условиях работы под перемещающимися массами разрыхленной породы.

Гибкость щита позволяет применять его при разработке пластов практически любой мощности и на участках (полосах) практически любой длины. Это снижает потери угля и расширяет область применения щитовой разработки.

---

[1] Конструкция сетки описана в настоящем сборнике в статье «Вопросы разработки мощных пологопадающих пластов с принудительным обрушением угля».

2. Методы управления гибким щитом

При увеличении мощности пласта трудность управления щитом возрастает. Это является одной из причин, ограничивающих в настоящее время область применения щитов пластами мощностью не более 10—12 *м*. Для обеспечения возможности использования щитов при разработке пластов мощностью больше 10—12 *м* необходимо установить достаточно надежные способы управления ими.

Для установления рациональных методов управления щитом необходимо изучать данные о его работе в различных условиях. При разработке мощного крутопадающего пласта полосами по падению вслед за опускающимся щитом приходит в движение вся масса обрушенных пород, расположенных выше щита. Поэтому в первую очередь необходимо установить характер передвижения этих пород.

С этой целью в лабораторных условиях было исследовано движение пород над щитом на модели разработки пласта мощностью 5 *м* с углом падения 60° в масштабе 1 : 25. На щит загружалась разрыхленная порода с размером кусков 0,2—0,5 *м*. Часть породы была окрашена в белый цвет и из нее засыпались маркирующие полосы. На рис. 3 приведены фотографии одной из моделей с тремя маркирующими полосами. Почва и кровля пласта были оклеены мелкозернистым песком. В процессе опускания щита вся масса породы передвигалась по падению пласта вслед за щитом, но скорость движения отдельных кусков породы была не одинакова. Куски породы, расположенные ближе к кровле пласта, перемещались с большей скоростью, чем куски, расположенные у почвы пласта (рис. 3). Это объясняется тем, что вследствие наклонного залегания пласта трение породы о почву превышает величину трения ее о кровлю пласта. Поэтому чем меньше угол падения пласта, тем больше степень неравномерности перемещения породы.

Таким образом, вследствие большей величины трения о почву пласта куски породы, расположенные у лежачего бока, несколько отстают от общего движения щита и всей массы породы. В результате возникают свободные пространства между этими кусками, куда устремляются куски, расположенные выше по вертикали. Это, в свою очередь, ведет к образованию щелеобразного свободного пространства у висячего бока пласта. Так как угол падения пласта превышает угол естественного откоса разрыхленных пород, то куски породы, расположенные непосредственно у кровли, будут скатываться вниз, заполняя эту щель.

Общая картина перемещения породы вслед за щитом представлена на рис. 4. Слой *а* породы, расположенный непосредственно у почвы пласта, будет передвигаться по направлению движения щита, но с меньшей скоростью. Остальная масса породы, расположенная выше указанного слоя, будет передвигаться со средней скоростью, несколько превышающей скорость движения щита, по направлению, более близкому к вертикальному.

И, наконец, верхний слой *б* породы, расположенный непосредственно у кровли пласта, кроме перемещения по направлению движения щита, будет еще скатываться вниз вдоль висячего бока со скоростью, значительно превышающей скорость перемещения щита. Само собой разумеется, что в местах перехода от середины к верхнему и нижнему слоям скорости перемещения кусков породы будут иметь промежуточные значения.

Эта схема перемещения разрыхленной породы над щитом составлена на основании наблюдений на модели. Она полностью подтверждается и наблюдениями в шахте. Так, например, в процессе многолетней прак-

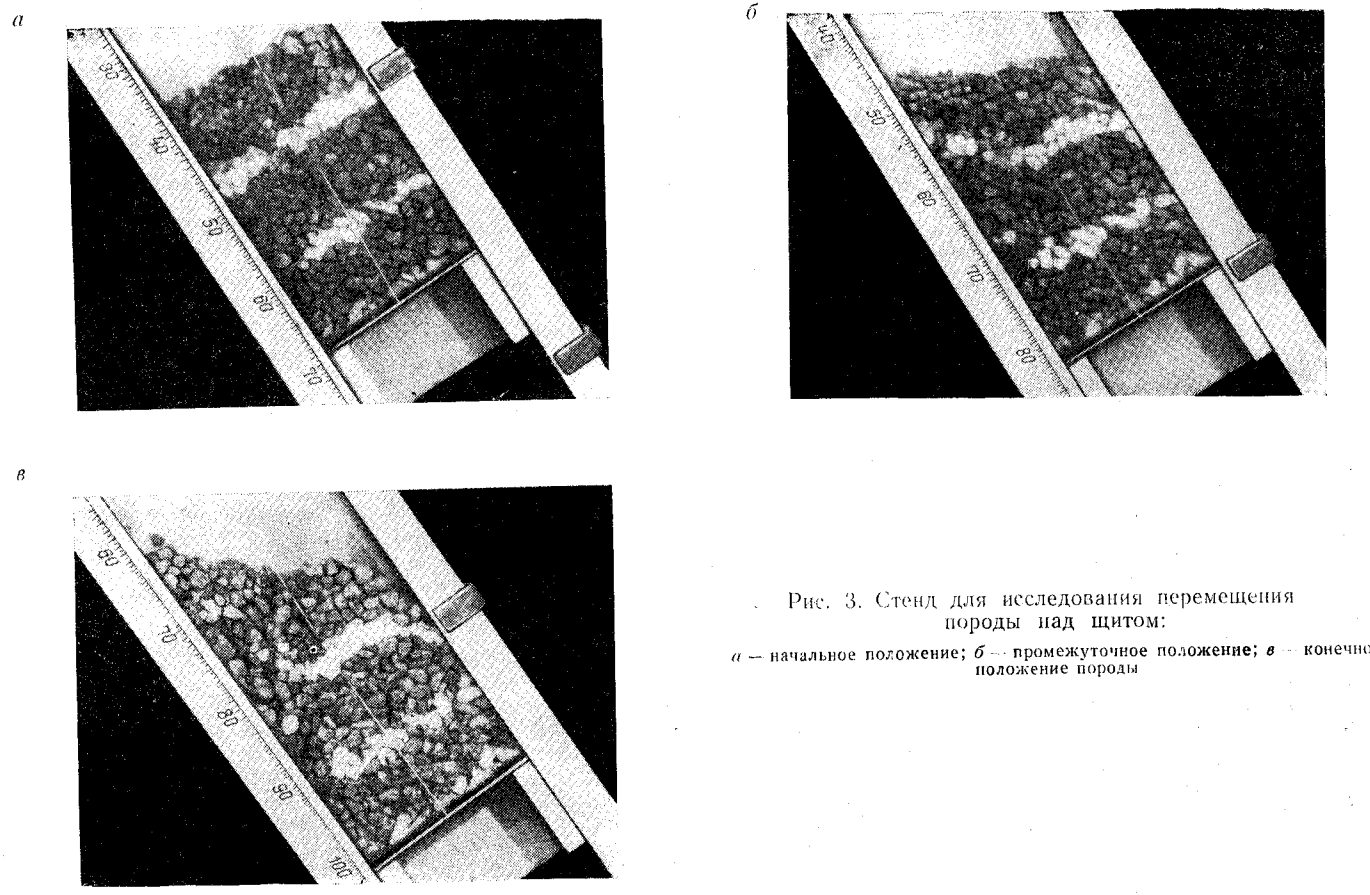


Рис. 3. Стенд для исследования перемещения породы над щитом:

а — начальное положение; *б* — промежуточное положение; *в* — конечное положение породы

тики применения щитов проф. Н. А. Чинакала в Кузбассе установлено, что после образования провалов на поверхности земли очень скоро отмечается появление растительных слоев почвы над щитами со стороны кровли пласта. Указанное можно объяснить только тем, что скорость перемещения кусков породы у кровли пласта значительно превышает скор перемещения самого щита.

Следует лишь отметить, что давление «кровли» пласта на модели отсутствовало. В шахтных же условиях оно будет иметь место, что несколько отразится на общей схеме перемещения пород. Общий характер движения пород при этом сохранится, но вследствие возрастания трения между кровлей и породой степень опережения верхнего слоя несколько уменьшится за счет увеличения толщины скатывающегося слоя *б*. Непосредственно над щитом расположена «зона покоя» *вгд* (рис. 4), в которой относительное движение кусков породы можно считать отсутствующим. Порода, расположенная в «зоне покоя», будет перемещаться по направлению движения щита со скоростью, соответствующей скорости движения последнего. Угол ω, образованный верхней гранью *вг* «зоны покоя» с горизонтальной плоскостью, будет определяться углом внутреннего трения породы и характером перемещения щита. Согласно наблюдениям на модели, величина угла ω составляет 55—65°, что превышает угол естественного откоса пород.

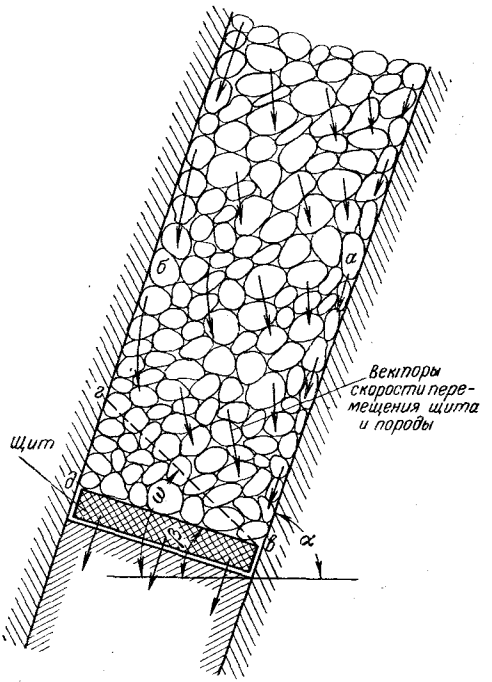


Рис. 4. Схема перемещения породы над щитом

Необходимо отметить, что наличие «зоны покоя» является благоприятным фактором для работы щита. Порода, расположенная в «зоне покоя», представляет своего рода ограждающую подушку, предохраняющую щит от действия сползающей к лежачему боку породы. Последнее особенно нежелательно при наличии гибкого щита, так как в этом случае щит будет стягиваться породой к почве пласта. Поэтому при проектировании способа управления щитом следует учитывать величину угла ω. Необходимо, чтобы при всех положениях щита угол наклона его β был всегда меньше угла ω_0 — угла естественного откоса породы (рис. 4). Надо также избегать значительных углов наклона β, так как в этом случае увеличится трение щита о лежачий бок пласта, в результате чего при опускании щит может сползти на почву пласта. В этом отношении большое значение имеет различие коэффициентов трения щита об уголь и породу (почву пласта). Обычно последний больше первого, что благоприятствует сползанию щита на почву. Поэтому следует принять меры к возможно большему уменьшению трения между ним и почвой пласта, т. е. сделать гладкой поверхность щита. Этого можно достичь прикреплением гладких листов железа к части щита, соприкасающейся с почвой пласта. Исследования на моделях показывают, что для обеспечения нормальной работы щита нельзя допу-

скать сползания его на почву пласта. Последнее является решающим фактором при выборе способа управления щитом.

Из самого существа системы разработки проф. Н. А. Чинакала вытекает, что все элементы перемещения щита в процессе работы должны происходить в соответствии с естественным перемещением щита и вышележащей породы под действием силы тяжести. Любые отклонения от этого положения обязательно приведут к затруднениям управления щитом, а в некоторых случаях — и к авариям.

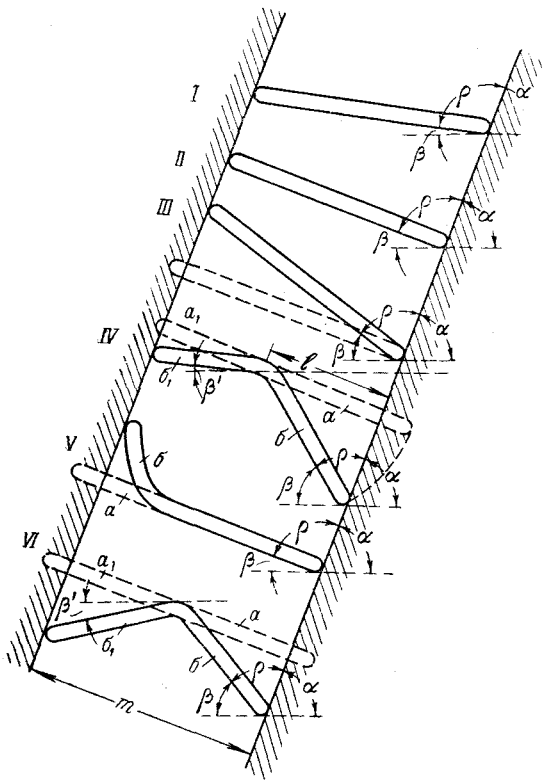


Рис. 5. Варианты расположения гибкого щита:
m — мощность пласта

На рис. 5 представлены шесть возможных вариантов расположения гибкого щита при разработке мощного крутопадающего пласта полосами по падению.

Вариант I. Щит располагается с небольшим наклоном в сторону лежачего бока пласта, при этом угол ρ (рис. 5) превышает 90°. Такое расположение щита следует считать недопустимым, так как в процессе отработки пласта под действием веса породы и самого щита последний упрется правым боком о почву пласта, что приведет к аварии.

Вариант II. Представляет обычное расположение щита, применяемое в Кузбассе ($\rho = 90°$). Такое расположение позволяет применить известный, хорошо освоенный на практике способ управления. В случае жесткой конструкции при указанном расположении щита выемка угля может производиться одновременно на всю его ширину. При гибком щите и значительной мощности пласта уголь вначале вынимается у лежачего бока, а затем у висячего. Такой порядок выемки угля определяет аналогичный порядок опускания щита. Вначале опускается часть щита, расположенная у лежачего бока пласта, а затем вторая часть, у висячего; этим исключается возможность сползания щита на почву.

Недостатком такого расположения щита является невозможность регулирования ширины отрабатываемой толщи, что при наличии местных изменений мощности пласта влечет дополнительные потери полезного ископаемого в виде оставляемых у кровли или у почвы пачек угля. Поэтому расположение щита по варианту II следует рекомендовать только при разработке весьма выдержанных по мощности пластов, когда необходимость регулирования ширины отрабатываемой толщи сама по себе исключается.

Вариант III. Небольшого изменения ширины отрабатываемой толщи пласта можно достигнуть за счет увеличения наклона щита ($\rho < 90°$) в сторону лежачего бока пласта, как это показано на рис. 5. В этом случае, изменяя угол наклона щита ρ, можно несколько изменять и ширину отрабатываемой толщи. Для обеспечения нормального управления щитом нижнее предельное положение его должно соответствовать значению $\rho = 90°$. С другой стороны, как указано выше, щит не должен выходить за пределы «зоны покоя», что соответствует значению $\beta \leqslant 40°$ при верхнем предельном положении щита. Наклон щита можно изменять только от $\beta_н = 180° - (90° + \alpha°)$ до $\beta_в = 40°$, где α — угол падения пласта.

Допустимая величина изменения наклона щита β в зависимости от угла падения пласта приведена в табл. 1, из которой следует, что при угле падения пласта менее 80° возможность регулирования ширины отрабатываемой толщи незначительна, а при угле падения менее 70° возможная величина изменения ширины отрабатываемой толщи практически неощутима. С другой стороны, всякое увеличение наклона щита в сторону лежачего бока увеличивает опасность сползания щита вниз под действием собственного веса и поэтому является нежелательным.

Таблица 1

Угол падения пласта α, град.	Допустимое изменение наклона щита β, град.	Возможное изменение ширины отрабатываемой толщи, %
55	5	0,4
60	10	1,5
70	20	6,0
80	30	13,4

Таким образом, расположение щита по варианту III с целью регулирования ширины отрабатываемой толщи является не эффективным, влечет дополнительные трудности в управлении и применение его следует считать нецелесообразным.

При отработке участков с переменной мощностью пласта щит следует располагать согласно вариантам IV, V и VI (рис. 5).

Вариант IV. В этом случае регулирование ширины отрабатываемой толщи достигается за счет изгибания щита в поперечном направлении. Положение щита *а* (показано пунктиром на рис. 5) аналогично варианту II. При этом щит расположен перпендикулярно к почве пласта, что соответствует наибольшей ширине отрабатываемой толщи. На участках, где мощность пласта уменьшается, части щита, расположенной со стороны почвы, придают больший уклон, в результате чего ширина отрабатываемой толщи уменьшается. Величина этого уменьшения будет определяться углами β и α и шириной перегибаемой части щита.

В табл. 2 приведены значения относительного изменения ширины вынимаемой толщи в процентах к наибольшему ее значению aa_1 (рис. 5) при изгибании части щита l в зависимости от ширины ее и угла наклона β для наиболее распространенных в Кузбассе углов падения пласта.

Из табл. 2 следует, что при $\beta = 60°$ и $l = 0{,}7\ m$ величина регулирования ширины вынимаемой толщи может составлять от 9,4 до 25,0%, что удовлетворяет требованиям значительного числа случаев практики. В данном случае можно допустить наклон щита под углом β, большим угла естественного откоса, так как неподвижная левая его часть, расположенная в «зоне покоя» у кровли пласта, будучи зажата породой, удержит перегнутую правую его часть и тем исключит возможность сползания щита на почву пласта. Для повышения надежности удержания правой части щита можно уменьшить наклон β' левой зажатой его части $б_1$. Но значительное отклонение левой части щита от перпендикулярного к кровле положения нежелательно, так как оно может вызвать дополнительные затруднения в управлении щитом.

Таблица 2

Угол падения пласта α, град.	Наибольший угол наклона щита β, град.	Величина изменения ширины отрабатываемой толщи, % при	
		$l = \frac{m}{2}$	$l = 0{,}7\ m$
60	40	0,75	1,1
60	50	3,0	4,2
60	60	6,7	9,4
70	30	0,75	1,1
70	40	3,0	4,2
70	50	6,7	9,4
70	60	11,7	16,4
80	30	3,0	4,2
80	40	6,7	9,4
80	50	11,7	16,4
80	60	17,9	25,0

Вариант IV обеспечивает нормальное управление щитом и может быть рекомендован для применения при разработке пластов мощностью больше 10—12 *м*, изменяющейся в пределах 10—25% в зависимости от угла падения пласта.

Вариант V. Расположение щита предусматривает изменение ширины отрабатываемой толщи посредством загибания левой части щита вверх — к кровле пласта. Остальная часть щита при этом расположена перпендикулярно почве пласта (рис. 5). Наибольшее давление расположенной выше породы на щит обнаруживается у почвы пласта, оно уменьшается по направлению к кровле, достигая в верхней части щита наименьшего значения.

Как указывалось ранее, скорость перемещения пород в процессе опускания щита наименьшая у почвы и наибольшая у кровли пласта (см. рис. 4). Последнее является следствием меньшего давления породы на кровлю пласта, а значит и меньшего трения между ними.

Следовательно, защемляющее действие загнутой вверх части щита *б* будет невелико и не повлечет зависания щита у кровли пласта, тем более, что изгибание щита в этом случае производится плавно (рис. 5) и пространство между *а* и *б* заполнено углем. До накопления соответствующего опыта работы ширину загнутой части не следует принимать более 3 *м*, что соответствует изменению ширины отрабатываемой толщи на 1,0—1,2 *м*.

Расположение щита по варианту V также позволяет нормально управлять щитом и наиболее удобно применять его при угле падения менее 60—70° и мощности пласта больше 5—6 *м* с изменением в пределах 1,0—1,2 *м*.

При угле падения менее 60—70° и мощности пласта 12—15 *м* и больше с изменением ее в значительных пределах (до 20—30%) возможно применение комбинированного расположения щита по вариантам IV и V. В этом случае правой части щита придают значительный уклон к почве пласта, аналогично варианту IV, а левую часть щита загибают вверх у кровли пласта, как это предусмотрено в варианте V.

Такое расположение щита дает возможность значительного изменения ширины вынимаемой толщи, независимо от угла падения пласта, и в то же время сохраняет нормальное управление щитом.

Вариант VI (рис. 5). Такое расположение щита также позволяет в значительных пределах изменять ширину отрабатываемой толщи

пласта, но при этом весьма затрудняет управление левой частью щита, что делает нецелесообразным использование этого варианта.

Таким образом, наиболее рациональными схемами расположения щита следует считать варианты II, IV и V. При выдержанных по мощности пластах следует принимать вариант II, а при наличии переменной мощности более целесообразными являются варианты IV и V.

Как указывалось выше, управление гибким щитом при расположении по варианту II может производиться обычными достаточно проверенными на практике способами и не представит существеных трудностей (рис. 6).

Схема управления гибким щитом при расположении по варианту IV представлена на рис. 7, где показаны последовательно положения щита (*а*, *б*, *в*, *г*, *д*) в процессе опускания его на высоту h, соответствующую шагу посадки.

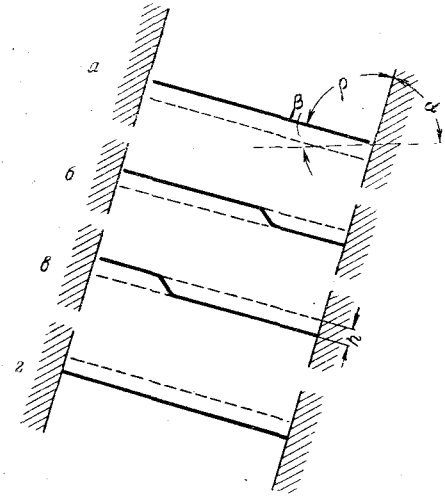


Рис. 6. Схема управления гибким щитом при расположении по варианту II:

а, *б*, *в*, *г* — последовательные положения гибкого щита при опускании за один цикл

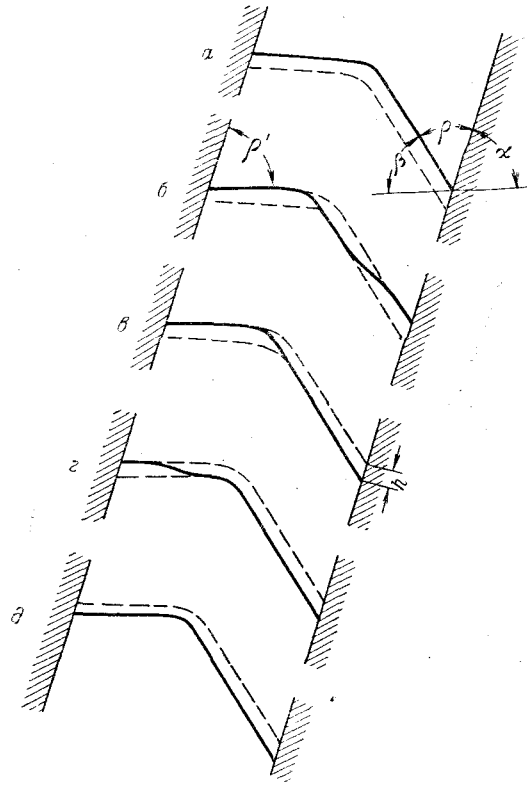


Рис. 7. Схема управления гибким щитом при расположении по варианту IV:

а, *б*, *в*, *г*, *д* — последовательные положения гибкого щита при опускании за один цикл

Опускание щита начинают с верхней стороны его изогнутой части и производят по направлению к почве пласта (рис. 7, *б*, *в*). В процессе опускания больше всего следует опасаться, чтобы правый край щита не лег на почву пласта. Это может произойти в том случае, когда угол ρ между изгибающимся краем щита и лежачим боком пласта будет больше 90°.

В данном случае величина угла ρ значительно меньше 90°, поэтому при небольшой величине шага посадки угол между изгибающимся краем щита и лежачим боком пласта также будет меньше 90°, что исключает возможность сползания щита на почву пласта. Угол между левой частью щита и кровлей пласта ρ' при этом должен быть равен или меньше 90°. Создается возможность опускания этой части щита от середины к кровле пласта, что облегчает ведение горных работ (рис. 7, *г*, *д*).

Большое значение имеет правильный выбор шага посадки щита h. Чем больше шаг посадки щита, тем больше будет обеспечена плавность опускания, меньшая нагрузка на щит, надежность работ. С другой стороны, величина шага опускания определяется применяемыми способами отбойки и доставки угля под щитом.

Поэтому выбор способа расположения гибкого щита и управления им необходимо обязательно связывать с выбором способа ведения горных работ, при этом желательно, чтобы до накопления достаточного опыта работы шаг посадки в щите не превышал 0,5—0,6 *м*.

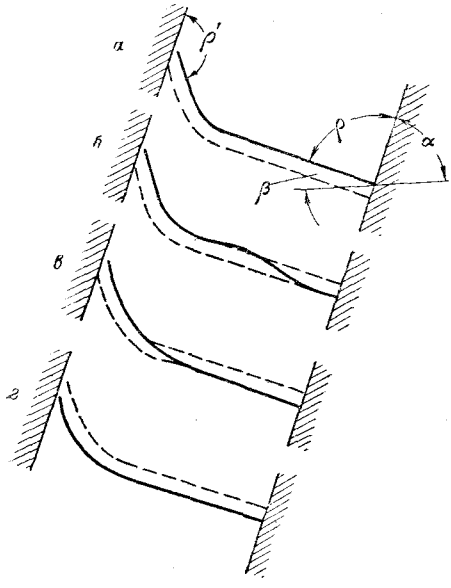


Рис. 8. Схема управления гибким щитом при расположении по варианту V:
а, б, в, г — последовательные положения щита при опускании за один цикл

На рис. 8 приведена схема управления гибким щитом при расположении по варианту V. Управление правой и средней частями щита производится аналогично показанному на рис. 6 и не представляет существенных трудностей. Угол ρ' между левой частью щита и кровлей пласта значительно больше 90°. Поэтому наибольшее внимание следует уделить управлению левой частью щита, загнутой вверх у кровли пласта.

В данном случае нельзя проводить полной аналогии с ранее указанным примером возможного сползания правой части щита на почву пласта при угле ρ большем 90°. Несмотря на то, что здесь величина угла ρ' больше 90° (рис. 8), опасность зажатия левого края щита у кровли пласта будет несравнимо меньшей, что объясняется, с одной стороны, относительным расположением кровли пласта и щита (каждая точка кровли пласта, расположенная ниже щита, более удалена от него, чем соответствующая точка почвы пласта), с другой стороны, значительно меньшей силой прижатия левой части щита к кровле пласта, по сравнению с правой. Последнее обстоятельство имеет особенно важное значение.

Сила прижатия левой, изогнутой части щита к кровле будет тем меньше, чем меньше угол падения пласта. Поэтому данное расположение щита наиболее целесообразно применять при углах падения пласта в пределах от 50—55 до 65°, максимум до 70°. По данным табл. 2, при этих углах падения расположение щита по варианту IV может не обеспечить необходимой величины регулирования ширины отрабатываемой толщи пласта.

Приведенные выше положения указывают, что при углах падения пласта до 60—70° можно нормально опускать левую часть щита, подрабатывая его к кровле пласта (рис. 8). При угле падения пласта большем 70° вследствие увеличения силы прижатия щита к кровле пласта опасность зажатия щита увеличивается. Поэтому до накопления опыта работы применения указанного расположения щита следует избегать, тем более, что это и не вызывается особой необходимостью, так как при больших углах падения пласта расположение щита по варианту IV обеспечивает достаточную величину регулирования ширины отрабатываемой мощности (табл. 2).

3. Система разработки мощных крутопадающих пластов с применением гибкого щита

Разработка пласта производится длинными столбами по простиранию с отработкой полосами по падению аналогично системе, предложенной проф. Н. А. Чинакалом. Общий вид отработки этажа показан на рис. 9.

Обычно при разработке мощных крутопадающих пластов высота этажа не превышает 100 *м*, что определяется затруднениями, связанными

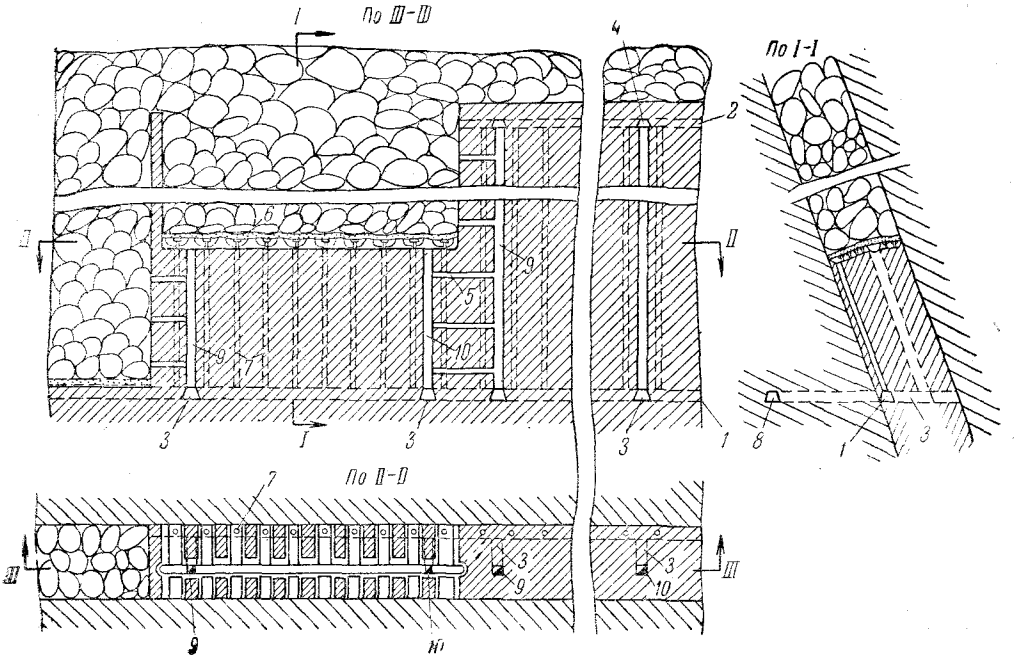


Рис. 9. Система разработки с применением гибкого щита:
1 — откаточный штрек; *2* — вентиляционный штрек; *3* — нижний орт; *4* — верхний орт; *5* — сбойка между ходовыми печами; *6* — гибкий щит; *7* — углеспускная печь; *8* — полевой штрек; *9* — передняя ходовая печь; *10* — задняя ходовая печь

с прохождением щита на бо́льшую высоту. В данном случае, учитывая гибкость и значительно бо́льшую прочность щита, высота этажа может быть доведена до 120—150 *м* и больше. Этаж подготовляется полевыми или групповыми штреками, расположенными в лежачем боку пласта, и соединенными с выемочными участками промежуточными квершлагами.

По пласту проводятся нижний *1*, верхний *2* штреки соответственно на откаточном и вентиляционном горизонтах. Из штреков *1* и *2* проводятся орты *3* и *4*, которые в пределах каждой полосы соединяются между собой ходовыми печами *9* и *10*, имеющими прямоугольное сечение и оборудованными лестницами для передвижения людей. Печи *9* и *10* располагаются на границах полосы.

Штреки *1* и *2* также соединяются между собой печами *7*, предназначенными в основном для спуска угля из очистного забоя. Печи *7* бурятся сбоечно-бурильной машиной и при достаточной устойчивости угля не крепятся. Расстояние между печами соответствует расстоянию между поперечными канавами и составляет 5—6 *м*.

4. Очистные работы

В Кузбассе при разработке мощных крутопадающих пластов с применением щитов проф. Н. А. Чинакала отбойка угля в очистных забоях производится взрывными работами, а доставка значительной части угля — вручную.

Наличие ручного труда по отгребке угля снижает эффективность работ и не позволяет извлечь всех выгод, связанных с применением щитов.

При взрывной отбойке угля не может быть обеспечено плавное опускание щита, что затрудняет управление им.

При мощности пластов менее 5—7 *м* эти трудности не имеют большого значения, но при дальнейшем увеличении мощности пластов они значительно возрастают.

Применение взрывной отбойки угля при разработке пластов мощностью более 8—10 *м* и при жестких секционных щитах вызывает неравномерную подработку последних, в результате чего отдельные участки щита получают весьма высокую нагрузку, что требует значительного повышения прочности щита. Поэтому жесткие секционные щиты для пластов мощностью более 8—10 *м* представляют весьма громоздкие конструкции, требуют значительно большего расхода материалов и число возможных аварий со щитами в этом случае больше, чем при разработке пластов менее мощных.

Следовательно, при разработке весьма мощных пластов более целесообразно применение гибких щитов и более рациональных способов ведения очистных работ, которые, наряду с большей эффективностью разработки, обеспечили бы плавное опускание щита и наиболее надежное управление, что является основным фактором, определяющим успешность разработки. В этом отношении из числа освоенных на производстве способов отбойки и доставки угля наиболее рациональным в существующих условиях следует считать гидравлический.

Применение гидравлического способа добычи и доставки угля под щитом исключает применение тяжелого ручного труда, обеспечивает наиболее полную механизацию работ в очистном забое, резко повышает безопасность и производительность труда, обеспечивает плавное опускание и надежное управление щитом.

Ниже приведен случай разработки весьма мощного крутопадающего пласта с применением гидромеханизации и гибкого щита.

В качестве примера принят пласт мощностью 15 *м* с углом падения 60°. На рис. 10 показан общий вид очистного забоя, состоящего из продольной канавы *1*, связывающей систему поперечных канав *2* и *3*.

Продольная канава *1* расположена в месте перегиба щита и предназначена для размещения рабочих и оборудования. Высота продольной канавы должна составлять 1,6—1,8 *м*, а ширина понизу — 1,3—1,5 *м*. Поперечные канавы *2* и *3* располагаются перпендикулярно к почве пласта и предназначены для доставки угля в углеспускные печи *7* и для прохождения воздуха. Во время работы по добыче угля рабочие располагаются только в канаве *1*. Пребывание обслуживающего персонала в канавах *2* и *3* предусматривается лишь в особых случаях, связанных с необходимостью осмотра или ремонта, что осуществляется в нерабочее время. Поэтому размеры поперечного сечения канав *2* и *3* принимаются по высоте 1,2—1,4 *м* и по ширине 1,8—2,0 *м*. Между канавами *2* и *3* расположены опорные целики *4* и *6*, на которых лежит гибкий щит (рис. 10).

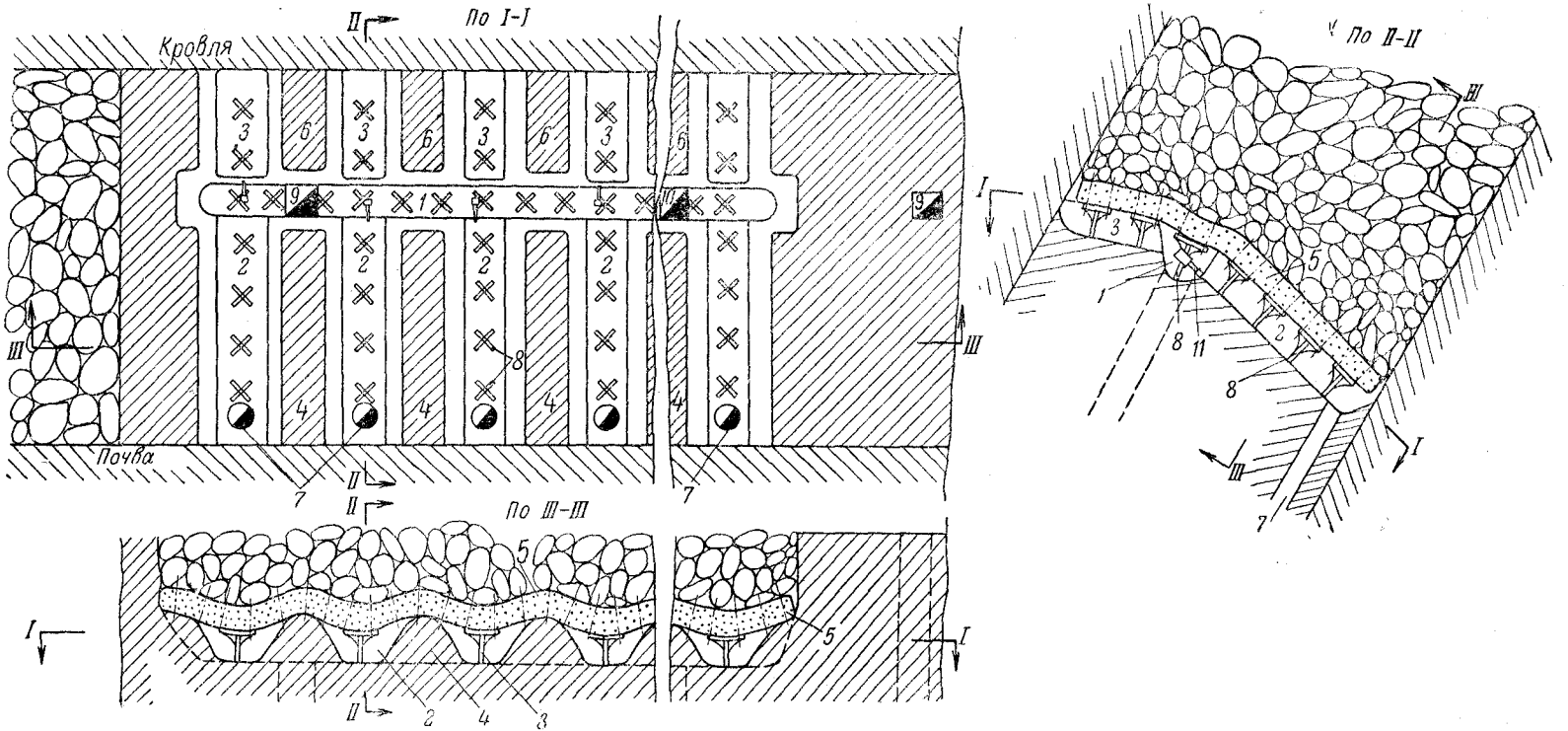


Рис. 10. Общий вид очистного забоя:

1 — продольная канава; *2* — поперечная нижняя канава; *3* — поперечная верхняя канава; *4* — нижний опорный целик; *5* — гибкий щит; *6* — верхний опорный целик; *7* — углеспускная печь; *8* — опоры щита; *9* — передняя ходовая печь; *10* — задняя ходовая печь; *11* — гидромонитор

Необходимая высота канав обеспечивается благодаря наличию опорных стоек 8, которые, опираясь на почву канавы, препятствуют излишнему опусканию щита. Стойки изготовлены из стальных труб и имеют широкие основания в виде крестовин из угловой стали, которыми они прикрепляются к щиту при помощи четырех расположенных рядом стяжных болтов. Значительная ширина крестовин и прикрепление их к стягивающим щит болтам обеспечивает устойчивое положение стоек в любых случаях передвижения щита. При расстоянии между стяжными болтами, равном 1 *м*, расстояние между опорными стойками составит 2 *м*, а ширина пространства между ними, на котором щит провисает, 0,8—0,9 *м*.

Таким образом, стойки представляют одно целое со щитом и в процессе отработки пласта опускаются вместе с ним.

Основными опорами для щита *5* являются целики *4* и *6*, расположенные между канавами *2* и *3*, а стойки *8* являются лишь вспомогательными опорами, препятствующими излишнему прогибанию щита в пространстве между опорными целиками *4* и *6*. Гидромониторы *11* расположены в канаве *1*, в местах сопряжения каждой пары канав *2* и *3*. Таким образом, число гидромониторов соответствует числу поперечных канав *2* или *3*. Трубопровод и гидромониторы прикрепляются к стойкам *8* и вместе с ними опускаются вниз по мере отработки пласта. Это исключает трудоемкие работы по наращиванию и укорачиванию трубопроводов, переноске гидромониторов, что значительно повышает эффективность их использования.

В существующих условиях может быть применен гидромонитор ГМР-1 конструкции В. С. Мучника с разгруженными подшипниками.

Гидромонитор ГМР-1 в повернутом на 90° положении прикрепляется к одной из стоек *8* (рис. 10). В указанном положении он сможет «обстреливать» забой с обеих сторон и под собой, что дает возможность осуществить отработку забоя как в направлении канавы *1*, так и вдоль канав *2* и *3*. Гидромонитор крепится к стойке *8* таким образом, чтобы его можно было поворачивать вокруг последней. Это облегчает работу гидромонитора, дает возможность отрабатывать канавы *2* и *3* по обеим сторонам стоек.

Практика гидродобычи на шахте «Тырганские уклоны» в Кузбассе показала, что эффективное действие струи воды наблюдается на расстоянии 10—15 *м* от гидромонитора.

В данном случае струя воды будет направлена сверху вниз под небольшим углом к поверхности забоя, что несколько уменьшит эффективность размыва угля.

Как свидетельствует опыт работы гидрошахт в Кузбассе, напор воды, равный 30 *атм*, вполне достаточен для размыва углей средней крепости. При наличии участков с более крепким углем и крепкими прослойками породы возможно частичное применение взрывных работ.

Для обеспечения плавности опускания щита уголь отбивается слоем толщиной примерно 0,5 *м* в направлении от гидромонитора к почве и кровле пласта. Вначале на небольшом участке углубляют канаву *2*, затем, подрабатывая бока канавы, уменьшают ширину опорного целика *4*, главным образом в верхней его части. В результате площадь опоры щита уменьшится, уголь в верхней части целика *4* будет раздавливаться и щит опустится. Таким образом, отбивая уголь на дне и по бокам канавы *2* по направлению к почве пласта, осуществляют опускание щита примерно на 0,5 *м*.

Отбитый уголь будет уноситься водой по дну канавы в печь *7* и по последней доставляться на нижний штрек.

После «отработки» канавы *2* тем же гидромонитором углубляют канаву *1* и затем приступают к такой же «отработке» соответствующей канавы *3*. При этом отбитый уголь транспортируется водой в том же направлении, через канаву *1*, по канаве *2*, в печь *7*. «Отработка» канав может производиться в любом направлении, но обязательно равномерно, без значительных перегибов щита. Управление щитом осуществляется по схеме, приведенной на рис. 7. Число одновременно работающих гидромониторов определяется производительностью участка, которая может быть доведена до 1000 *т* в сутки и более.

Согласно практическим данным, производительность гидромонитора ГМР-1 при проведении подготовительных выработок по углю средней крепости составляет 10—15 *т/час*, а в очистных забоях при подэтажном обрушении достигает 40—50 *т/час*.

В данном случае условия гидроотбойки будут несколько легче, чем при проведении узких штреков. Поэтому при кливажистом угле средней крепости производительность гидромонитора может составить 25 *т/час*. При 6-часовой работе сменная производительность гидромонитора будет примерно равна 150 *т/смену*. При ширине полосы 60—80 *м* и одновременно работающих трех гидромониторах производительность участка в смену составит 450 *т*, а в сутки 1350 *т*.

На нижнем штреке уголь или обезвоживается и дальше откатывается в вагонетках обычным способом, или и дальнейшая транспортировка его осуществляется гидравлическим способом, включая выдачу на поверхность. Последний вариант следует считать наиболее целесообразным.

5. Определение нагрузки на щит

В процессе отработки полосы вслед за опускающимся щитом будут перемещаться вниз и расположенные выше разрыхленные породы.

Практика применения щитов проф. Н. А. Чинакала в Кузбассе показывает, что вслед за щитом перемещается весьма значительный столб породы, достигающий поверхности земли. При этом не наблюдается больших смещений боковых пород. Опускание кровли происходит медленно со значительным отставанием от щита.

При большой мощности пласта и угле падения более 55—60° зависание пород над щитом из-за зажатия их кровлей мало вероятно. В этих условиях возможно лишь местное сводообразование на небольших участках при скоплении крупных глыб породы.

Передвигающаяся вслед за щитом порода представляет собой разрыхленный материал с различным размером кусков, обладающих незначительной связностью, и поэтому может рассматриваться как сыпучая.

Величина давления расположенной выше породы на щит не будет постоянна. В процессе отработки пласта она будет непрерывно изменяться, уменьшаясь при опускании щита и увеличиваясь при его длительных остановках. При опускании щита порода будет перемещаться не одновременно всей массой, а с некоторым опережением кусков, расположенных ближе к щиту. В этом отношении характер перемещения сыпучих пород резко отличается от характера перемещения монолитной глыбы. В первом случае давление на щит будет нарастать постепенно, а во втором случае — мгновенно и нагрузка при этом получит ударный характер.

Вследствие опережения нижних кусков породы давление на щит во время опускания будет уменьшаться. Нарастание давления произойдет лишь при остановках щита. При этом, чем продолжительнее остановка щита, тем большей величины давления следует ожидать.

Указанное подтверждается наблюдениями на шахте № 3—3-бис в Прокопьевске при испытании щита проф. Н. А. Чинакала для наклонного падения. Было отмечено, что во время передвижения щита давление на него резко снижалось, а в периоды между передвижками постепенно возрастало.

Известно, что величина горного давления на опоры зависит от механической характеристики самих опор. В данном случае опорами являются сам щит, обладающий некоторой несущей способностью, целики угля между канавами и поддерживающие стойки (рис. 11). Поддерживающие

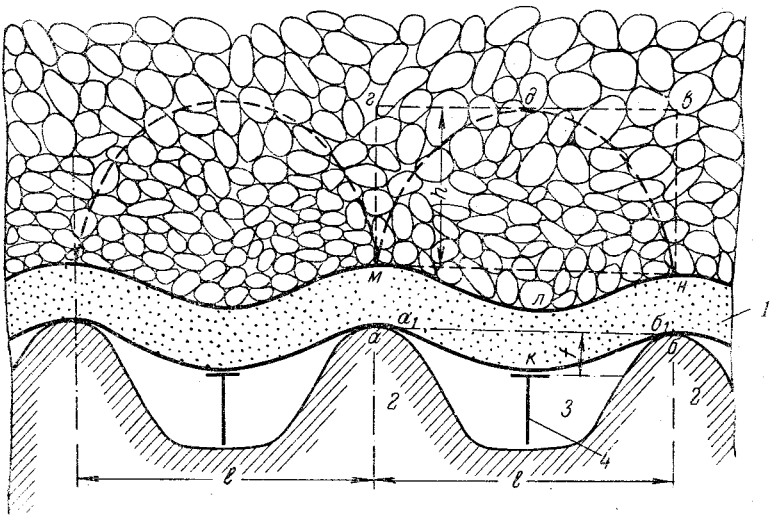


Рис. 11. Схема к определению давления на гибкий щит:
1 — гибкий щит; *2* — опорный целик; *3* — канава; *4* — опора щита

стойки обладают небольшой опорной поверхностью, опираются на сравнительно некрепкое основание — уголь, поэтому при возрастании нагрузки будут несколько погружаться в него. Величину этого погружения — податливость — можно регулировать, придавая соответствующую форму нижнему концу стойки.

Целики между канавами представляют собой более жесткую опору. Но в процессе работы, подвергаясь подработке, опорная поверхность целиков также уменьшается. Это вызовет раздавливание угля в верхних частях опорных целиков и определит их некоторую податливость.

Сам же щит представляет весьма гибкую конструкцию и при нарастании давления может прогибаться в любых местах.

Таким образом, система щит — целики — стойки представляет опору, обладающую большой степенью податливости. В этих условиях при систематическом опускании щита особо больших напряжений в элементах его ожидать нельзя. Примерная расчетная схема нагрузки на щит приведена на рис. 11. Щит *1* располагается на целиках *2* между канавами *3* и перекрывает весь угольный забой — полосу, поэтому он полностью воспринимает давление расположенных выше пород и передает его на опорные целики. При чрезмерном прогибании над канавой щит опирается на стойки *4*, что определяет минимальную высоту рабочего пространства.

Наибольшая нагрузка на щит будет при провисании стоек *4*. В этом случае щит можно рассматривать как равномерно нагруженную широкую, гибкую плиту на нескольких опорах.

Для упрощения расчета рассмотрим часть щита, перекрывающую одну канаву *3*, опирающуюся на два соседних целика *2* и подверженную сверху давлению разрыхленной породы. С целью выяснения характера и величины давления на щит были произведены наблюдения на модели в лабораторных условиях.

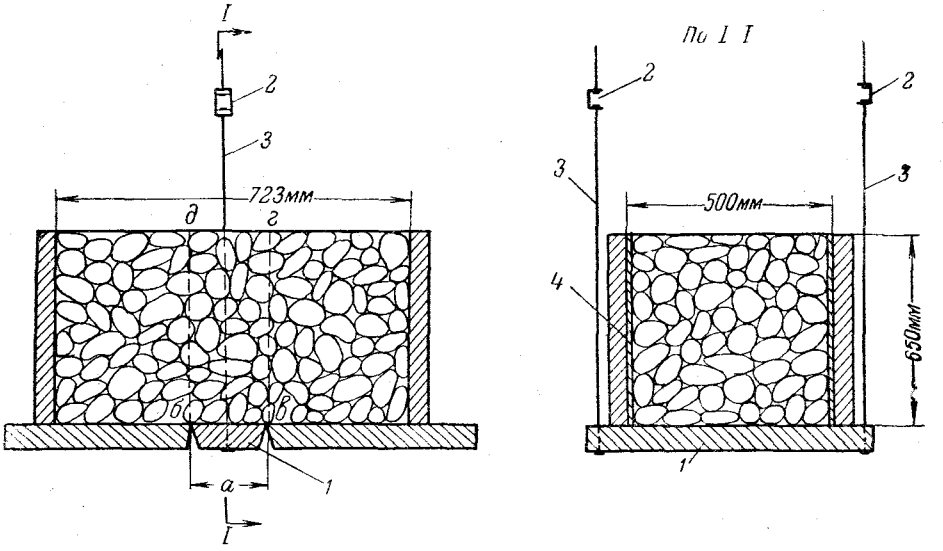


Рис. 12. Стенд для определения давления сыпучей породы **на горизонтальную площадку:**

1 — горизонтальная площадка; *2* — электротензометр; *3* — стальная тяга; *4* — стеклянный лист

Для этого использовался ящик размером $0{,}723 \times 0{,}5 \times 0{,}65$ *м* (рис. 12). Во всю ширину дна ящика был сделан вырез. Ширина выреза была принята вначале равной 155 *мм*, а в дальнейшем увеличена до 325 *мм*. Вырез перекрывался горизонтальной площадкой — «щитом» *1*, подвешенным на двух тягах *3* к электротензометрам *2*.

Для уменьшения влияния боковых стенок последние были футерованы листами стекла *4*. В ящик засыпалась разрыхленная порода, представлявшая собой дробленую каменную соль, с кусками от 1—2 до 25—30 *мм* (в основном 5—15 *мм*). Куски соли имели разнообразную неправильную форму. Объемный вес соли в разрыхленном состоянии был равен 1,3 *кг/дм*^{3}.

Соль засыпалась предварительно взвешенным мерным ящиком, количество ее определялось и по весу, и по высоте слоя. Перед и после каждого опыта электротензометры тарировались.

Результаты исследования приведены на рис. 13. По горизонтальной оси откладывалась высота h слоя засыпанной в ящик породы, а по вертикальной — давление P на щит.

Первый опыт был произведен при ширине выреза a, равной 155 *мм*. Вычисленный вес столба породы, расположенного над «щитом» *1*, в зависимости от высоты h показан пунктирной линией *I*.

Засыпание породы производилось постепенно и осторожно, чтобы сохранить возможно бо́льшую степень разрыхления. Высота h засыпки породы была доведена до 620 *мм*, что в четыре раза превышало ширину

«щита» *1*. При этом наблюдалось непрерывное увеличение давления на «щит» *I* (рис. 13, линия *II*). Как видно из диаграммы, положение линии *II* мало отличается от линии *I*, представляющей полный вес столба *бвгд* (рис. 12).

Это приводит к весьма важному выводу, что при постепенном засыпании породы сверху вниз на жесткий, расположенный на жестком основании щит величина давления на щит мало отличается от веса вер-

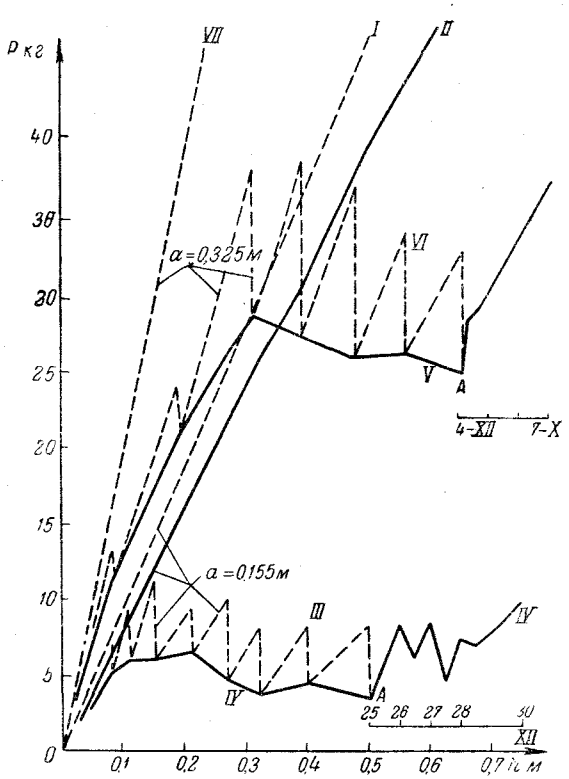


Рис. 13. Графики изменения давления сыпучей породы на горизонтальную площадку

тикального столба породы, имеющего форму и площадь поперечного сечения такую же, как и щит. Небольшое отклонение линии *II* относительно линии *I* объясняется некоторой разницей в жесткости щита и дна ящика.

Для выяснения характера изменения давления щит (при наличии податливых опор) был опущен на 1,0—2,0 *мм* посредством удлинения тяг *3*. Давление на щит немедленно уменьшилось с 48 до 4,9 *кг*, т. е. почти в десять раз.

В дальнейшем методика проведения опытов была изменена: после засыпки очередного слоя породы тяги *3* удлинялись на 1—2 *мм*, что влекло соответствующее опускание щита. Удлинение тяг *3* производилось поворотом гайки на верхней нарезанной ее части, которой тяга *3* прикреплена к электротензометру *2* (рис. 12).

Замер давления на щит после каждой очередной засыпки породы производился дважды: первый раз сразу после окончания засыпки, а второй — после указанного выше опускания щита на 1—2 *мм*.

Данные замера давления показаны пунктирной линией *III* на графике рис. 13. Как видно из графика, при каждой очередной подсыпке породы давление на щит резко увеличивается, затем при опускании щита на 1,0—2,0 *мм* оно так же резко падает. Характерно, что если продолжать опускание щита на большую величину, то дальнейшего уменьшения давления не наблюдается. Если же продолжать подсыпать породу, не опуская щит, то давление будет продолжать увеличиваться. При этом график увеличения давления будет представлять почти прямую линию, круто поднимающуюся вверх, аналогично линии *II*.

Показательным является также то, что при наличии над щитом даже довольно толстого слоя породы подсыпание незначительного количества ее влечет почти такое же увеличение давления на щит, какое имеет место в начальный период засыпки, когда слой породы был небольшой. Это видно из приблизительно одинакового наклона пунктирных линий *III*. Соединив минимальные значения линии *III*, получим линию *IV*, представляющую график изменения давления на щит с податливыми опорами в зависимости от высоты перекрывающего слоя породы (рис. 13).

Кривая *IV* показывает изменение давления на щит при ширине его $a = 155$ *мм* и высоте слоя породы до 500 *мм*. Засыпка породы заняла примерно 2 часа. После этого на протяжении 6 дней (с 25 до 30 ноября) ежедневно утром и в конце дня производились повторные замеры давления при неподвижном щите. Замеренные значения давления нанесены на рис. 13 в виде продолжения линии *IV* вправо от точки *A*. При этом отмечено постепенное нарастание давления к утру каждого следующего дня и некоторое уменьшение давления с утра до конца дня.

После 28 ноября следующий замер давления производился через два дня (30 ноября), при этом отмечено увеличение давления больше обычного. Это указывает, что нарастание давления на неподвижный щит происходит непрерывно и величина будет тем больше, чем больше продолжительность его действия.

Уменьшение давления в течение рабочего дня объясняется незначительными опусканиями щита вследствие толчков, вызываемых хождением работающего в лаборатории персонала и другими причинами.

Вторая серия опытов была произведена с использованием этого же ящика. Ширина щита была увеличена до 325 *мм* (рис. 12). На рис. 13 показаны графики изменения давления на щит при увеличении толщины слоя породы от 0 до 653 *мм*. Линия *VII* показывает полный вес столба породы *бвгд*, расположенного над щитом (рис. 12).

Пунктирная зигзагообразная линия *VI* представляет изменение давления на щит в зависимости от высоты слоя породы. При этом верхние значения показывают величину давления после каждой очередной засыпки породы на неподвижный щит, а нижние значения — величину давления после каждого опускания щита на 1,0—2,0 *мм*.

Линия *V*, соединяющая нижние концы ломаной линии *VI*, характеризует изменение давления на щит с податливыми опорами. Следует отметить, что кривые *V* и *VI* аналогичны кривым, полученным проф. М. М. Протодьяконовым [9], который не отмечает возможности увеличения давления при неподвижной опоре. Примененные им технические средства давали, повидимому, возможность определить давление лишь на податливую опору.

Засыпание породы было закончено в 12 час. 4 декабря, при этом было зафиксировано давление на щит, равное 25 *кг*. В тот же день было замерено давление еще четыре раза — в 14, 15, 16 и 17 час. Соответственно отмечено повышение давления до 28,7, 28,9, 29,1 и 29,2 *кг*.

В таком виде вся система простояла трое суток и 7 декабря в 9 час. вновь произведенный замер давления показал возрастание до 37,8 *кг*. В течение 5 и 6 декабря работы в лаборатории не производились. Указанное изменение давления на неподвижный щит, при постоянной толщине слоя породы, в зависимости от времени действия показано на рис. 13 в виде продолжения линии *V* вправо от пункта *A*. Часть линий *IV* и *V*, расположенных вправо от пункта *A*, нанесена в масштабе времени.

Как видно из рис. 13, часть линий *IV* и *V*, расположенных левее пункта *A*, имеет приблизительно одинаковую форму. Следовательно, вначале, по мере увеличения толщины слоя породы над щитом с податливыми опорами, давление на щит растет весьма значительно. В течение этого периода интенсивность роста давления мало отличается от интенсивности такового при неподвижном щите. Затем при максимуме давление несколько снижается и в дальнейшем остается почти постоянным в течение всего периода подсыпания породы независимо от увеличивающейся толщины слоя последней. Причем величина давления на щит в этом случае в несколько раз меньше веса столба породы.

Таким образом, если засыпать породу на неподвижный щит, то давление будет увеличиваться по мере увеличения высоты столба породы и может достичь весьма большой величины. Если опускать щит хотя бы на незначительную высоту, то давление на него будет небольшое и более или менее постоянное, независимо от высоты столба породы.

Если же в процессе засыпания породы щит периодически опускать, то давление на него будет меняться в значительных пределах: при каждом опускании щита давление будет падать приблизительно до одной и той же величины, а в периоды, когда щит будет неподвижным, давление будет значительно возрастать и конечная величина его будет тем больше, чем больше времени щит будет находиться в неподвижном состоянии.

В сыпучих, не обладающих связностью породах при засыпании сверху вниз на неподвижный щит и отсутствии взаимной передвижки кусков породы сводообразование невозможно. Если ширина щита значительно превышает размер кусков породы, то возможность расклинивания ее при скатывании вниз в этих условиях также отпадает. Этим объясняется явление непрерывного возрастания давления на неподвижный щит в процессе увеличения толщины слоя засыпаемой породы. В таком случае каждый упавший вниз кусок породы окажет давление на нижерасположенные куски. Это явление необратимо и не может само по себе исчезнуть, поэтому, по мере падения следующих кусков, давление будет нарастать все больше и больше в соответствии с увеличением толщины слоя породы.

В идеальном случае, когда боковые стенки ящика (рис. 12) расположены на значительном расстоянии друг от друга, опорное действие неподвижного щита ничем не отличается от опорного действия основания ящика, конечно, при одинаковой механической характеристике материалов, из которых они изготовлены.

Следовательно, в этом случае щит должен испытывать на единицу площади такое же давление, как и дно ящика, которое будет соответствовать весу вертикального столба породы, расположенной над ним.

Иная картина будет иметь место при опускании щита. Куски породы, расположенные над щитом, придут в движение, которое будет происходить с неодинаковой скоростью. Наибольшую скорость будут иметь куски породы, расположенные по середине опускающегося щита (вследствие трения о неподвижные боковые стенки). Все остальные куски породы, расположенные между указанными, будут иметь промежуточные скорости, увеличивающиеся от краев к середине щита.

При опускании щита куски породы, расположенные по вертикальной оси, начнут перемещаться не в одно время. Куски, расположенные выше, опустятся несколько позже, чем куски, расположенные ниже, — ближе к щиту. Поэтому, а также вследствие большего сопротивления перемещению, скорость опускания кусков породы будет тем меньше, чем выше они расположены над щитом.

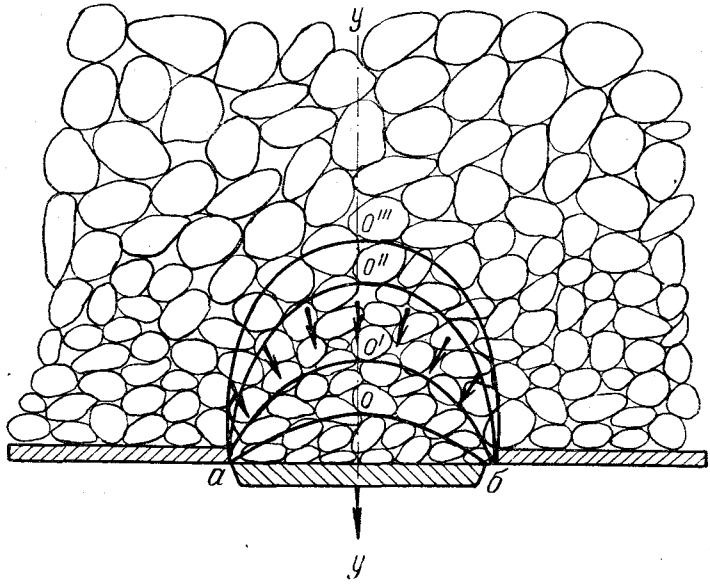


Рис. 14. Схема перемещения сыпучей породы при опускании горизонтальной площадки

Линии равных скоростей опускания вниз кусков породы могут быть представлены в виде кривых *аоб*, *ао'б*, *ао''б* и т. д. (рис. 14). Действительная форма их будет зависеть от формы кусков породы и их физико-механической характеристики.

Наблюдения показывают, что приведение в движение разрыхленной породы сопровождается значительным уменьшением плотности всей перемещающейся массы. Это объясняется взаимной раздвижкой кусков породы при движении, увеличением свободного пространства между ними, вследствие чего объемная плотность движущегося массива сыпучей породы всегда значительно меньше объемной плотности того же массива, находящегося в покое. Чем больше скорость движения разрыхленного массива, тем меньше будет его плотность.

Таким образом, объемная плотность пород на участке, расположенном над средней частью опускающегося щита, будет меньше, чем на участках, расположенных над его краями.

В результате возникает зона минимальной объемной плотности над средней частью щита, вследствие чего при общем движении кусков породы вниз будет наблюдаться некоторое смещение их к середине щита (показано стрелками на рис. 14).

Как видно из рис. 14, каждая расположенная выше линия равных скоростей опускания кусков породы имеет бóльшую длину. Так, *аоб* $<$ *ао'б* $<$ *ао''б* $<$ *ао'''б* и т. д. Следовательно, перемещаясь вниз, куски породы будут сжиматься между собой, а при благоприятных условиях — самораскли́ниваться.

Такой характер взаимного перемещения кусков породы при опускании щита будет способствовать образованию сводов, которые воспримут нагрузку лежащей выше породы, передавая ее на бока. В этом случае давление на щит будет невелико, так как оно будет соответствовать весу объема породы, расположенного под сводом.

Учитывая, что ширина щита во много раз превосходит поперечные размеры кусков породы, образовавшиеся своды будут весьма неустойчивы. Чем меньше размеры кусков породы и чем больше ширина щита, тем меньше будет степень устойчивости сводов. В процессе взаимной передвижки кусков породы своды будут разрушаться и будут возникать новые, в результате чего давление на щит будет изменяться.

При остановке щита ранее возникшие своды начнут разрушаться, и в результате связанной с этим передвижки породы возникнут новые своды, но уже выше, которые также, вследствие своей неустойчивости, разрушатся, что приведет к образованию опять новых сводов еще выше и т. д.

Процесс разрушения и образования новых сводов будет происходить непрерывно, и, таким образом, давление на щит будет постоянно увеличиваться.

Указанное подтверждается описанными выше опытами. При остановке щита всегда отмечался рост давления, и чем больше продолжительность остановки щита, тем больше величина давления на щит (см. рис. 13, части линий *IV* и *V* правее пункта *A*).

Если находящийся долгое время в неподвижном состоянии, а значит весьма нагруженный щит опускать вниз, то, как указывалось ранее, давление на щит начнет уменьшаться и вскоре достигнет более или менее постоянной минимальной величины и при дальнейшем опускании щита это давление уже почти не изменяется.

Практически во время опытов при опускании щита всего на 1—3 *мм* давление на него сразу же достигало минимального значения. Но если опускание щита в начальный период производить весьма медленно, с интервалами, допустим, всего 0,5 *мм*, то давление постепенно уменьшается и достигнет минимального значения лишь после соответствующего опускания щита.

Это явление нельзя объяснить образованием и разрушением сводов в направлении сверху вниз, так как при любом, даже весьма незначительном опускании щита «зона разрежения» всегда будет расположена непосредственно над щитом — в средней его части, где будет иметь место наибольшая передвижка кусков породы. Поэтому первые своды должны образовываться на небольшой высоте над щитом в районе «зоны разрежения», где передвижка породы наибольшая.

Постепенное уменьшение давления на щит в этом случае следует объяснить тем, что в результате незначительного и медленного опускания щита степень разрежения, а значит и передвижка пород будут весьма небольшими — недостаточными для образования полных сводов. При этом возникнут лишь небольшие сводики на малых участках, что приведет к некоторому уменьшению давления на щит.

В процессе опускания щита эти сводики будут разрушаться и возникать вновь в различных участках в районе «зоны разрежения». При этом по мере возрастания передвижки пород число сводиков и их размеры будут увеличиваться, пока, наконец, не образуют первый полный, замкнутый свод. В этот момент давление на щит достигнет минимального значения.

Для образования достаточно устойчивого полного свода требуется соответствующее вертикальное давление на куски породы в замковой

части свода, обеспечивающее необходимое расклинивание кусков. Этим, кстати, можно объяснить отмеченный еще проф. М. М. Протодьяконовым и другими исследователями факт некоторого возрастания давления на щит при уменьшении высоты слоя (см. рис 13, линии *IV* и *V*).

В зависимости от взаимного расположения кусков плотность разрыхленного объема породы может быть различна: чем плотнее уложена порода, тем больше устойчивость массива, тем больше его несущая способность. И наоборот, при неплотной укладке породы устойчивость массива меньшая — меньше несущая его способность.

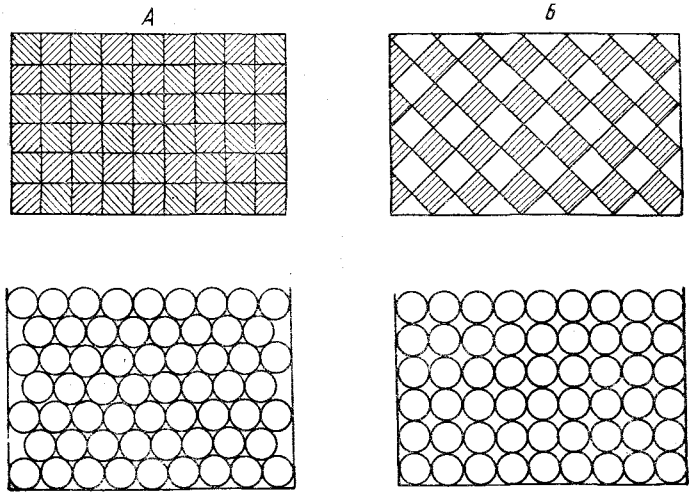


Рис. 15. Схема расположения кусков сыпучей породы при:
А — максимальном уплотнении; *Б* — минимальном уплотнении

На рис. 15 приведены варианты наиболее *А* и наименее *Б* плотной укладки кусков породы, имеющих правильную форму кубиков и шаров. Кубики и шары при наименее плотной укладке (вариант *Б*) располагаются в весьма неустойчивом положении, достаточно незначительного внешнего воздействия, чтобы нарушить их взаимное расположение. Кроме того, вследствие незначительной опорной поверхности (они опираются друг на друга только в одной точке), при возрастании давления они будут быстрее разрушаться, что опять-таки вызовет передвижку всей системы.

Засыпание породы на щит также может производиться с большей или меньшей плотностью. Отмечено, что при неплотной засыпке породы давление на неподвижный щит будет меньше, чем при плотной.

На основании всего изложенного выше это может быть объяснено следующим образом. При неплотной засыпке несущая способность и степень устойчивости толщи породы будут незначительны. Поэтому по мере увеличения высоты породного столба и возрастания давления в нижних слоях будет происходить некоторая передвижка кусков породы вниз — уплотнение. В местах передвижки породы будут возникать местные «зоны разрежения» со сводообразованием.

В данном случае, ввиду значительной разрыхленности породы, неустойчивого расположения отдельных ее кусков, степень устойчивости сводов будет также весьма незначительна. Поэтому по мере уплотнения массива породы в различных местах будут непрерывно образовы-

ваться и разрушаться своды различного размера, что определит и соответствующее изменение величины давления на щит.

Следует отметить, что уплотнение массива породы происходит медленно и величина передвижки кусков породы при этом незначительна. Применяя неплотную засыпку породы, трудно обеспечить значительное и устойчивое снижение давления на щит.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Давление на щит главным образом зависит от его механической характеристики и опор.

2. По мере засыпания породы на жесткий щит, расположенный на неподвижных опорах, давление на него будет непрерывно возрастать и может достичь очень большой величины.

3. Если одновременно с засыпанием одной и той же породы щит опускать вниз хотя бы на незначительную высоту, то величина давления на него будет невелика — определится величиной площади опускающейся части щита и не будет зависеть от толщины слоя породы, расположенной над ним.

4. При остановках щита, когда опускание его прекращается, давление породы на щит будет непрерывно увеличиваться и величина его будет тем больше, чем длительнее остановка щита.

5. Давление на щит нельзя рассматривать как величину постоянную. Оно непрерывно изменяется в зависимости от характера перемещения расположенной выше породы, в свою очередь определяемого механической характеристикой опор щита и его движением.

Таким образом, для обеспечения минимального давления на щит необходимо создать непрерывную передвижку вышележащих разрыхленных пород в непосредственной близости от щита, в результате чего будут образовываться своды, воспринимающие на себя давление основной толщи пород.

Непрерывную передвижку пород легче обеспечить, используя гибкий щит и не допуская длительных его остановок. Поэтому применение гибких щитов следует считать наиболее целесообразным, так как при этом обеспечивается наименьшее давление на них и определяется наиболее высокая степень надежности в работе.

Все описанные выше явления наблюдаются и в шахтных условиях при отработке мощных крутопадающих пластов полосами по падению с применением щитовой крепи.

Вслед за опускающимся щитом перемещаются вниз разрыхленные породы, которые по своим механическим свойствам близки к сыпучим.

При полном заполнении разрыхленной породой отработанного пространства над щитом опускание кровли небольшое и значительно отстает от забоя. Поэтому при весьма большой мощности пластов (больше 8 *м*) случаи зажатия пород кровлей маловероятны и могут происходить лишь на значительном расстоянии от щита.

Следовательно, наличие давления кровли не вызовет существенного изменения в ранее представленной картине перемещения пород и все приведенные выше выводы будут справедливы и для шахтных условий.

Разрыхленная порода, находящаяся в состоянии движения, всегда будет иметь меньшую объемную плотность, чем в состоянии покоя. Поэтому при гибком, систематически опускающемся щите порода, расположенная в непосредственной близости от него, будет наиболее разрыхлена. Практика показывает, что величина опускания кровли у забоя невелика и возникающее при этом давление на породу погасится за счет взаимных передвижек отдельных кусков ее в процессе уплотнения.

Поэтому в этих условиях при большой мощности пласта расчет щитовой крепи допустимо производить с учетом только веса вышележащих разрыхленных пород.

Описанные выше лабораторные исследования по определению давления на щит показывают, что величина давления изменяется в значительных пределах (см. рис. 13). В шахтных условиях практически невозможно обеспечить такой режим работы, при котором давление было бы постоянным. В действительности давление на щит будет непрерывно изменяться. Для обеспечения нормальной работы важно установить такой режим, при котором амплитуда изменения величины давления не превысила бы допустимых пределов.

В этих условиях определение точного значения давления на щит является невозможным и не представляет практического интереса.

Для обычных расчетов вполне достаточно приближенного решения этой задачи с учетом основных факторов, определяющих величину нагрузки на щит и амплитуду возможного ее изменения.

Конструкция определяет гибкость и значительную несущую способность щита. Несущая способность щита приближенно может быть вычислена по формуле

$$M = ak_p z.$$

Изгибающий момент M при равномерно распределенной нагрузке составит

$$M = \frac{ql^2}{12}, \qquad (1)$$

откуда

$$q = \frac{12ak_p z}{l^2}, \ т/м^2, \qquad (2)$$

где q — нагрузка на 1 $м^2$ щита, включая собственный вес его, $т/м^2$;
a — ширина оболочки щита, равная 1 $м$;
k_p — разрывное сопротивление 1 $м$ оболочки щита, $т/м$;
z — плечо момента сопротивления, ориентировочно принятое 0,83 h;
l — длина пролета, $м$;
h — толщина щита, $м$.

Предельная несущая способность щита, определенная по формуле (2), при $k_p = 80$ $т/м$, $l = 6$ $м$ и $h = 0{,}8$ $м$ составит примерно 17,6 $т/м^2$ для случая, когда стойка не опирается на почву канавы, и 70 $т/м^2$, когда стойка опирается на почву канавы.

Учитывая отсутствие опыта применения такого рода щитов, следует первое время определение прочных размеров щита производить более осторожно. В качестве одного из возможных вариантов расчета может быть предложен следующий.

Участок щита, перекрывающий одну канаву *3* (см. рис. 11) на длину 1 $м$, рассматривается как гибкая лента шириной 1 $м$, длиной l со стрелой провеса f.

При наиболее неблагоприятном случае, когда стойка *4* не опирается на почву канавы *3*, для определения прочных размеров щита необходимо знать величину приходящейся на него нагрузки.

Из известных методов определения величины давления сыпучей породы на щит наиболее распространенным является метод, предложенный проф. М. М. Протодьяконовым, согласно которому, на площадку шириной *мн* (см. рис. 11) давит объем породы *мдн*, ограниченный параболической поверхностью.

Высота h объема может быть определена выражением

$$h = \frac{l}{2 \operatorname{tg} \varphi}. \qquad (3)$$

Давление породы на площадку шириной l и длиной 1 $м$

$$Q = \frac{\gamma l^2}{3 \operatorname{tg} \varphi}, \qquad (4)$$

где φ — угол внутреннего трения расположенной над щитом породы;
γ — объемный вес породы, $т/м^3$.

Результаты определения по формуле (4) величины давления на плоский щит в условиях выполненных лабораторных исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Ширина щита, *мм*	Величина давления на щит, *кг*		Примечание
	по замеру	по формуле (4)	
155	4,0	6,7	При вычислении принято $\varphi = 38°$, $\gamma = 1{,}3$ $г/см^3$
325	26.0	29,4	
325	22,8	29,4	

Как видно из табл. 3, данные замера давления в лабораторных условиях (см. рис. 13) не намного расходятся со значениями давления, определенными по формуле (4). Это дает право предположить, что и в натуре значения давления на щит, определенные по формуле (4), будут близки к действительности.

Необходимо отметить, что такой метод определения нагрузки допустим лишь для гибкого щита. При жесткой конструкции щита всегда следует считаться с возможностью значительного увеличения нагрузки при остановках, особенно при наличии жесткой опоры (крепкого угля, большой поверхности опорных целиков).

При величине пролета $l = 6$ $м$ высота h свода *мдн*, ограничивающего объем породы, поддерживаемый щитом (см. рис. 11), составит

$$h = \frac{l}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{6}{2 \cdot 1} = 3 \text{ } м.$$

Значение угла трения φ принято равным 45°. На участке *мн* на щит будет давить объем породы *млнд* (см. рис. 11).

Для упрощения расчета объем *млнд* заменим несколько бо́льшим объемом пород *мнвг*, имеющим ту же высоту h. Тогда вес объема пород, давящего на щит,

$$Q = 1{,}7\,(3{,}0 + 0{,}8)\,6{,}0 = 38{,}8 \text{ } т/м \text{ или } 6{,}5 \text{ } т/м^2,$$

где 1,7 — объемный вес породы, $т/м^3$;
0,8 — толщина щита, $м$.

Напряжение P в точке k оболочки щита может быть определено по формуле

$$P = \frac{ql^2}{8f} = \frac{6{,}5 \cdot 6^2}{8 \cdot 1} = 29{,}3 \text{ } т/м, \qquad (5)$$

где q — вес породы, приходящийся на 1 $м^2$ щита;

l — пролет щита, $м$;

f — стрела провеса щита, принята равной 1 $м$.

Наибольшее напряжение $P_м$ в оболочке щита будет в точках $а$ и $б$ и может быть определено по формуле

$$P_м = P + qf = 29{,}3 + 6{,}5 = 35{,}8 \ т/м. \qquad (6)$$

Для случая, когда стойки опираются на почву канавы, значение $P_м$ примерно равно 11,0 $т/м$. Это напряжение будут испытывать оболочка и обвязка щита. Разрывное сопротивление проволочной сетки составляет 60 $т/м$.

Принимаем, что обвязка состоит из двойных железных полос сечением 8×32 $мм$, расположенных на расстоянии 1 $м$ друг от друга. Разрывное сопротивление ее, приходящееся на 1 $м$ поперечного сечения, будет

$$0{,}8 \cdot 3{,}2 \cdot 2 \cdot 4 = 20 \ т/м,$$

где 4 — разрывное сопротивление железных полос, $т/см^2$.

Суммарное разрывное сопротивление двойной оболочки и обвязки щита вместе взятых составит 140 $т/м$, что определит запас прочности, равный 3,9 при пролете щита $l = 6$ $м$ и 12,7 — при пролете $\frac{l}{2} = 3$ $м$, когда стойка *4* (см. рис. 11) будет опираться на почву канавы *3*.

Следует отметить, что ввиду гибкости щита крайние точки его опоры будут находиться не в точках $а$ и $б$, а в точках $а_1$ и $б_1$, поэтому в действительности пролет щита будет меньше l (см. рис. 11) и увеличится запас прочности.

В существующих условиях приведенные выше значения запаса прочности следует считать допустимыми, тем более, что вследствие гибкости щита в действительности опорные стойки всегда будут опираться на почву канавы. В случае же необходимости возможно увеличить прочность проволочной сетки и обвязки и тем еще больше повысить запас прочности.

Нагрузка на опорные стойки $Q_с$ может быть определена формулой

$$Q_с = 2Q = 77{,}6 \ т,$$

где 2 — расстояние между стойками, $м$.

Здесь совершенно не учитывается несущая способность щита, чем вводится некоторый дополнительный запас прочности.

6. Монтаж щита

Монтаж щита производится на вентиляционном (минусном) горизонте. Для этого на уровне вентиляционного штрека отрабатывают слой угля толщиной 2,0—2,2 $м$ на всю мощность пласта. Отработку слоя производят лавой от завала к участковому квершлагу с применением обычной стоечной крепи. Расположение монтажного слоя, величину и направление его наклона устанавливают в зависимости от ширины щита.

Последовательность работ по монтажу следующая.

1. На почве монтажного слоя настилается проволочная сетка «вереплет» на предварительно уложенные связи и раскрепленные стяжные болты.

Настилка сетки производится по мере отработки слоя полосами шириной 5—10 $м$. Стойки призабойной крепи устанавливаются правиль-

ными рядами или прямо на сетку, или на стыках между ее полосами, как это делается при разработке мощных пластов горизонтальными слоями в Кузбассе. У кровли и почвы края сетки загибаются вверх.

2. На сетку укладывается ряд досок толщиной 10—15 *мм*, поверх которых насыпается слой мелкой породы толщиной 150 *мм*. Затем опять укладывается последовательно слой досок и породы до тех пор, пока толщина щита не составит необходимую величину. Сверху порода перекрывается слоем досок.

3. Настилается проволочная сетка на верхней поверхности щита и соединяется с загнутыми частями сетки и связей у кровли и почвы пласта.

4. Укладываются связи и затягиваются стяжные болты.

На этом заканчивается монтаж щита. По мере отработки слоя и укладки щита кровля в выработанном пространстве обрушается. Стойки призабойной крепи остаются в щите, что не мешает дальнейшей работе. С целью облегчения работ по монтажу толщину щита следует принимать в пределах 0,6 — 0,8 *м* и лишь в исключительных случаях допускать до 1,0—1,2 *м*.

По мере монтажа щита и обрушения кровли проходятся печи и канавы и производится дополнительная затяжка болтов снизу. Для этого на оба конца стяжных болтов наносится резьба. Опорные стойки прикрепляются к стяжным болтам с нижней стороны щита в процессе проходки канав.

7. Проветривание участка и техника безопасности

Проветривание участка производится так же, как и при системе проф. Н. А. Чинакала.

Из участкового квершлага свежий воздух поступает на штрек *1* (см. рис. 9), затем по печи *7* направляется в очистной забой, омывает его и по печи *10*, сбойке *5* и орту *3* следующей полосы поступает на вентиляционный штрек *2*, по которому направляется на вентиляционный участковый квершлаг. Часть воздуха направляется по ходовой печи *9* и омывает продольную канаву под щитом, чем обеспечивается необходимое проветривание мест расположения людей в очистном забое.

Следует отметить, что в процессе добычи угля струя воды, выбрасываемая из гидромониторов, будет увлекать за собой воздух, увеличивая интенсивность его циркуляции, и тем содействовать лучшему проветриванию очистного забоя.

Печи *9* и *10* оборудуются лестницами и крепятся срубовой крепью. Таким образом, очистной забой обеспечивается двумя надежными выходами.

Рабочие располагаются в канаве под прочным щитом, что обеспечивает высокую степень безопасности работ. При большой мощности пласта ($m > 10$—12 *м*) и крутом падении возможность зависания пород над щитом маловероятна. В этом случае отработанное пространство будет плотно заполнено опустившимися вслед за щитом породами.

При большой мощности пласта потери угля будут невелики. Так, при обычных размерах целиков между щитами 2 *м*, между этажами 3 *м* и потерях по мощности 0,4 *м* общие потери угля не превысят 10—12%.

Принимая во внимание указанное, а также быстроту отработки пласта и небольшие потери угля, можно считать, что опасность самовозгорания угля в этих условиях будет сведена к минимуму.

8. Технико-экономические показатели

Как указывалось выше, наименьшая нагрузка на щит будет при непрерывном движении щита вниз. Поэтому добычу угля в очистном забое следует производить непрерывно в течение трех смен в сутки. Технологический процесс по добыче угля в очистном забое не имеет подготовительных операций, чем определяется возможность осуществления непрерывной добычи угля.

Основные технико-экономические показатели по участку приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование показателей	Единица измерения	Технико-экономические показатели
Мощность пласта	*м*	15
Угол падения пласта	град.	60
Наклонная высота этажа	*м*	115
Ширина полосы	»	50
Продолжительность отработки полосы	сутки	70
Подвигание забоя	*м/сутки*	1,65
Скорость отработки этажа	»	0,72
Управление кровлей		Обрушение
Добыча угля в сутки всего	*т*	1400 (100%)
из очистных работ	»	1350 (96%)
из подготовительных работ	»	50 (4%)
Проведение подготовительных выработок за сутки	*м*	5,5
Бурение скважин-печей в сутки	»	14,7
Проведение выработок на 1000 *т* добычи	»	4,0
Бурение скважин-печей на 1000 *т* добычи	»	10,5
Число рабочих на участке в сутки	чел./смен	67
То же, без подготовительных работ	»	54
То же, в очистном забое	»	18
Производительность рабочего по участку в смену	*т*	21
То же, по очистному забою	»	75
Расход леса	$м^3$/1000 *т*	3
Расход метала	*кг/т*	0,45
Расход дробленой породы	$м^3$/1000 *т*	5
Потери угля	%	12

Выводы

Использование гибких щитов предлагаемой конструкции позволяет применить систему проф. Н. А. Чинакала и для разработки крутопадающих пластов мощностью больше 10—12 *м*.

По сравнению с существующими щитами гибкие щиты имеют следующие преимущества.

1. Способность щита изгибаться в любых направлениях определяет его прочность и высокую сопротивляемость действию горного давления, что существенно повышает безопасность и обеспечивает надежность работ.

2. Гибкость конструкции щита значительно облегчает управление и позволяет отрабатывать пласты с колебанием мощности до 10—20% без дополнительных потерь угля.

3. Гибкость щита позволяет применить его при разработке пластов любой мощности и на участках практически любой длины, что значительно расширяет область применения весьма производительной щитовой системы разработки.

4. Применение гибкого щита позволяет существенно уменьшить потери угля, величина которых (12%) не превышает потерь, имеющихся

в настоящее время при наиболее безопасных в пожарном отношении системах разработки.

5. Конструкция щита проста и предусматривает небольшой расход материала и притом самого дешевого — породы.

6. Предлагаемая конструкция предусматривает максимальное использование веса вышележащих пород и щита для его перемещения, что является основным фактором, обеспечивающим высокую степень надежности работ.

7. Гибкость и прочность щита позволяют увеличивать высоту этажа.

При значительной длине участка могут оказаться экономически целесообразными предварительная выемка и бетонирование межщитовых целиков, что еще больше снизит потери угля и повысит пожаробезопасность разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чинакал Н. А. Системы разработки с щитовым креплением. Гостоптехиздат, 1943.
2. Мучник В. С. Освоение технологии подземной гидравлической добычи угля в промышленности. «Уголь», 1952, № 4.
3. Мучник В. С. Подземная гидравлическая добыча угля в Кузбассе. Углетехиздат, 1953.
4. Малахов Г. М. Выпуск руды из обрушенных блоков. Металлургиздат, 1952.
5. Степанов И. Н. Передвижное крепление очистных забоев. Углетехиздат, 1951.
6. Геронтьев В. И. Методы закладки выработанного пространства. Углетехиздат, 1948.
7. Цытович Н. А. Механика грунтов. Стройиздат, 1951.
8. Слесарев В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1948.
9. Протодьяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. Госгориздат, 1933.
10. ДонУГИ. Исследование механических свойств горных пород Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1951.

Поступило
14/XII. 1953 г.