

К ВОПРОСУ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЩИТОВОЙ КРЕПИ

Н. Г. КАПУСТИН

(Представлено проф. докт. техн. наук П. М. Алабужевым)

В последние годы добыча угля на шахтах в Кузбассе системой со щитовым перекрытием выросла до 34% от общей добычи бассейна. Такое быстрое распространение этой системы объясняется ее крупными преимуществами и высокими технико-экономическими показателями, как это видно по данным таблицы 1. Однако сложившаяся практика горных работ со щитовым перекрытием состоит в применении щитов на крутопадающих пластах.

Горная общественность располагает ограниченным опытом разработки мощных угольных пластов наклонного падения при помощи щитовой крепи. Тем не менее дееспособность щитов на катках в условиях угла падения пласта $37-45^\circ$ установлена, как это следует из опыта работы на шахтах Кузбасса (шахта № 3—3 бис, по пласту Горелому мощностью 8—10 м с углом падения $34-40^\circ$; шахта „Манеиха“; шахта „Красногорская“; шахта им. Дзержинского).

Экспериментальные работы в Кузбассе позволили выявить влияние формы щита на его подвижность. Например, серповидный щит на катках в условиях шахты им. Дзержинского в 1945 г. прошел 33 м по падению, показав хорошую дееспособность. Промышленные испытания шатровидного раздвижного щита на шахте „Дальние Горы“ показали, что его полусферический профиль содействовал его нормальной работе. Систематическое вождение сдвоенных щитов Чинакала тоже содержит ценное указание о влиянии геометрической формы щита на его дееспособность, ибо поочередно опуская сдвоенные щиты, мы как бы превращаем плоскость в полусферу.

Движение упомянутого серповидного щита по почве пласта оказалось тогда более энергичным, чем по кровле. Щит как бы поворачивался относительно своего верхнего конца с постоянной угрозой прорыва пустой породы под щит со стороны почвы. Эти известные в Кузбассе эксперименты не являются случайными. Наоборот, в них содержится прямое указание практики на необходимость придания щитовому перекрытию выпуклой формы. В этом случае важно понять, что точки опоры щита на кровлю и почву наклонного пласта желательно вынести вперед относительно внешней выпуклой поверхности перекрытия, воспринимающей давление обрушенных пород; чем больше будет достигнута кривизна щита, тем лучшая ожидается его дееспособность. К этим соображениям надо присовокупить постоянную подвижность („шевеление“) обрушенных пород при вождении спарен-

Таблица 1

Технико-экономические показатели щитов на катках и слоевых систем разработки в тождественных горно-геологических условиях

№ № п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Опытные щиты на катках		Промышленно-щитовые участки		Слоевые системы (промышл. участки)	
			тяжел. щит на катках шахты 3—3 бис	бес-секц. щит на катках; шах. „Манейха 2“	по шахте „Манейха 2“	по шахте „Красногорская“	накл. слои с обрушением	гориз. слои с обрушением
1	Угол падения	град	34	40—42	40—48	33—50	40—45	33—50
2	Размер щита (слоя)	м	7,25	5	4,5—7,5	6—7	2,5	2,5
	Длина забоя	м	15	30	30—40	30	25	7
3	Ср. мес. подвигание забоя	м/м	5	17,4	35	14	31	76
4	Добыча—ср. месячная	т/м	660	3267	6150	2950	2500	2360
	макс. месячная	"	703	4500	7835	4600	3160	2600
	ср. суточная	"	22	118	311	110	80	78
	макс. суточная	"	80	300	460	300	150	160
5	Производительность на трудящ. в м-ц	т/см	6	30	36,7	31,3	14,7	12,6
	Затр. раб. силы на монтаж щита	т/мц	60	92,8	110	111,1	69	58
	то же на демонтаж	ч/см	880	150	144	180		
7	Стоимость металла щита	т. р.	312	70	38	70,8		
	то же монтажа щита	"	800	15	61,7	7,45	9,2	
	„демонтажа“	"	44	—	3,24			
8	Расход на 1000 т ВВ	кг	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,57
	леса	м³	10	22,2	13,5	15	60,8	71,5
	металла	кг		2000	1000	2000		
9	Кол. выруб. на 1000 т	м	40	49	49	49	78	90
10	Себестоим. 1 т угля по участку	руб		21,18	10,6	20,76	23,6	22,4
11	Общая добыча	тыс. т	3,3	15,5	110,6	39,8		
12	Снижение себестоимости относительно слоевых систем	руб на т		2,42	13	2,84		

ных щитов, что гарантирует непрерывное движение завала за перекрытием, это особенно важно при разработке наклонных пластов.

В настоящее время представляется возможным изложить основные положения к проектированию оградительной щитовой крепи с новой кинематической схемой вождения. Конструктивная разработка такого щита позволила бы поставить промышленное испытание щитовой системы разработки для выемки наклонных мощных пластов, что служило бы цели коренного улучшения способов разработки угольных месторождений.

Новая кинематическая схема вождения щита

При обработке наклонного пласта сверху вниз мы имеем выше очистного забоя—обрушение, ниже—целик угля. Если пласт расчленим плоскостью, параллельной напластованию, на верхнюю и нижнюю пачки, причем выемку верхней пачки опережать на 2,5—3 м, то очистной забой представит единое для всей мощности пласта рабочее пространство, выраженное, как показано на рис. 1, верхним забоем 1, бермой 2 и нижним забоем 3.

Принимаем решение верхний забой оградить щитом, который бы воспринял давление обрушенных пород и частично или полностью передал это давление на берму забоя через жесткую секторную опору 4. Рабочее пространство нижнего забоя ограждаем также щитом 5, свободно и шарнирно подвешенным к верхнему щиту. Щит 5 может вращаться вокруг шарнира *В*, а будучи опущенным несколько вниз, свободно опереться на почву пласта и получить вращение вокруг точки *А* соприкасания с почвой пласта.

Движение щита происходит вслед за выемкой угля вниз по падению пласта и состоит из двух последовательных этапов, несовместимых во времени. Первый этап—вращение нижнего щита 5 вокруг оси подвески (шарнир *В*). В это время верхний щит неподвижен, что достигается его упором в грудь забоя и на берму под действием обрушенных пород.

Второй этап—поворот нижнего щита 5, опирающегося на почву пласта в точке *А* (по рис. 1) и увлечение (проталкивание) им верхнего щита вниз по падению пласта. Верхний щит шарнирно связан с нижним и увлекается им, передавая внешние нагрузки через специальные секторные опоры 4 на берму из целинного угля, по которой и осуществляется движение щита вниз по падению пласта на постоянном уровне этой бермы.

В целях обоснования кинематики движения щита по описанной схеме делаем извлечение из теоретической механики¹⁾ о степени свободы кинематической цепи, составленной плоскими телами, а именно:

а) свободное тело имеет три степени свободы,

б) опорный стержень имеет одну степень связи и две степени свободы,

в) неподвижный шарнир (рис. 2) имеет две степени связи и одну степень свободы,

г) подвижный шарнир (рис. 3) имеет одну степень связи и две степени свободы.

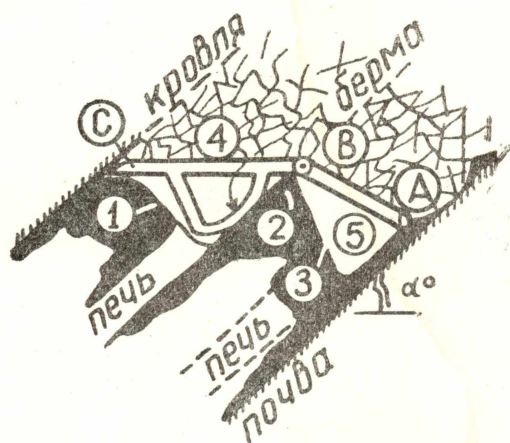


Рис. 1. Элементы щита и щитового забоя.

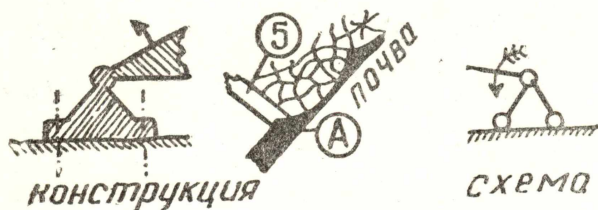


Рис. 2. Неподвижный шарнир с одной степенью свободы (опора на почву).

¹⁾ Проф. Рабинович С. М. Курс строительной механики. ОНТИ, 1938.

$$3D - (2M + C_c) = 6 - (2 + 3) = 1,$$
[illegible]

пласта; причем это движение является единственно возможным. В первом этапе, когда нижний щит 5 свободно вращается вокруг неподвижного среднего шарнира B по рис. 4, верхний щит оказывается

неподвижным, поскольку он действием обрушенных пород прижат к груди забоя и берме.

По изложенным соображениям делаем вывод:

а) при первом этапе движения, произведя взрывание опорного целика угля по лежащему боку пласта, можно опустить нижнюю часть щита, не изменяя покоя верхней части конструкции. Здесь как бы проявляется принцип вождения сдвоенных щитов, имевший место на шахтах Кузбасса;

б) после взрыва верхнего уступа щит приобретает единственную заведомо известную степень свободы, а именно: прямолинейное движение верхнего щита по берме. Это движение осуществляется до встречи щитом препятствия, т. е. груди забоя в новом положении после взрыва;

в) во всех случаях расчетная схема щитов как кинематической пары является статически определимой.

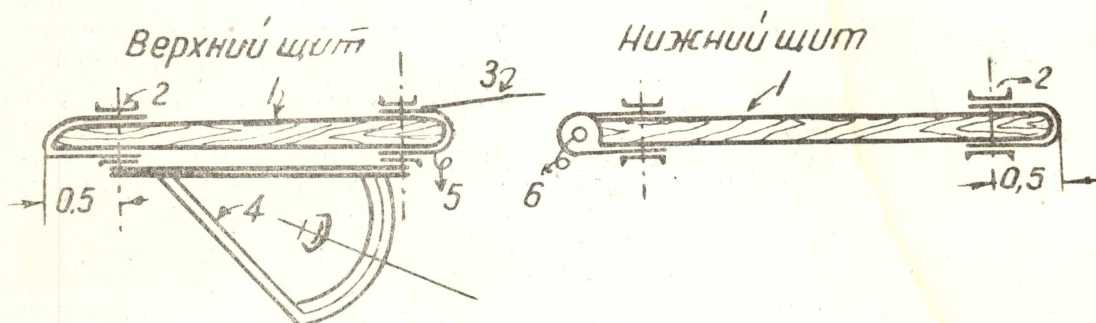


Рис. 5. Конструкция элементов щита.

Габариты щита определяются мощностью пласта. Высоту верхнего забоя желательно уменьшить для облегчения щита от вредных сил трения его о завал при вращении вокруг точки А. Габариты щита также будут в известной мере зависеть от прочных размеров угольной бермы, воспринимающей давление секторных опор.

Под влиянием горного давления берма будет иметь тенденцию обрушаться со стороны груди забоя. Это обрушение бермы нижнего уступа будет проявляться в виде трещин Людерса, которые располагаются, как известно, под углом к разрушающей силе в 30° . Кроме того, может последовать разрушение нижнего уступа в виде скалывания под углом (к плоскости бермы) $\theta = 45 + \frac{\varphi}{2}$, где φ — угол

внутреннего трения угля. Исходя из ориентировки трещин Людерса и плоскости скалывания по Кулону, возникает крайнее положение щита, которое (положение) следует определять углом γ менее 30° к линии опорной силы на берму, т. е. к линии истинной мощности пласта. В целях сохранения бермы поворот щита за первый плюс второй этапы движения не может превышать угла $2\gamma = 60^\circ$.

Прочные размеры щита и бермы потребуют предрасчета внешних нагрузок на щит. Внешние усилия, стремящиеся разрушить щит или угольную берму, а при благоприятном случае переместить щит по линии падения пласта, следует определять построением силовых диаграмм. Пример таких диаграмм дан на рис. 6.

Назовем внешние силы, действующие на щит:

1. Горное давление от обрушенных пород на верхний щит — Q_B .
2. Сила трения, обусловленная этим давлением, — T_{QB} .
3. Горное давление на нижний щит — Q_H .

4. Сила трения, обусловленная этим давлением, $-T_{QH}$.
5. Горное давление кровли пласта на козырек верхнего щита $-P$.
6. Сила трения, обусловленная этим давлением, $-T_p$.
7. Реакция упора щита в верхний угольный забой $-E$.
8. Реакция бермы на опорный сектор верхнего щита $-N$.
9. Сила трения, обусловленная этой реакцией, $-T_N$.
10. Реакция упора среднего шарнира щита (точка B на рис. 4) в бровку бермы $-W$.
11. Сила трения, обусловленная этой реакцией, $-T_w$.
12. Реакция почвы пласта $-U$.

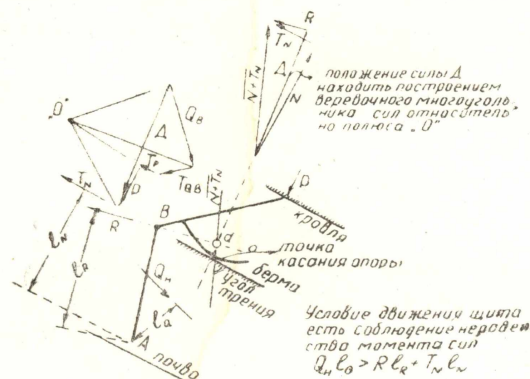


Рис. 6. Внешние силы, действующие на щит во втором этапе его движения.

ращение вокруг точки A на рис. 1) вытекает, что при наклонном залегании пластов (с углом более 25°) происходит надежная фиксация верхнего щита под воздействием горного давления, что и позволяет разгрузить нижний щит от продольных (вдоль брусьев) усилий и повернуть его вокруг шарнира B на угол 2γ .

Следует заметить, что на пластах пологого падения (с углом менее 25°) сил горного давления для фиксации верхнего щита оказывается недостаточно. Возможно применение с этой целью системы натяжных полиспастов, постоянно увлекающих верхний щит вниз по падению. Таким мероприятием область применения „шагающих“ щитов расширяется.

Построением силовых диаграмм при втором этапе движения щита (вокруг точки A на рис. 1) можно убедиться в том, что движение щита от воздействия обрушенных пород возникает на всех углах наклонного падения пластов, то есть более 25° . При этом, чем больше угол падения пласта, тем надежнее осуществляется процесс самодвижения щита.

Выемка угля под щитом происходит четырьмя последовательными приемами (рис. 7):

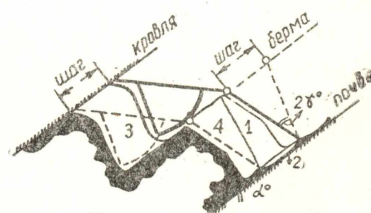
1. Вынимается уголь площадью 1 под нижним щитом, но оставляется бортовой целик 2.
2. Взрывается целик 2 с одновременным разворотом нижнего щита на угол 2γ .
3. Вынимается уголь на площади 3 под верхним щитом; движе-

Кроме того, интерес представит внутренняя реакция между верхним и нижним щитами, возникающая в среднем шарнире, $-R$; вес щита $-G$.

При первом этапе движения устойчивость верхнего щита обеспечивается равновесием сил Q_B , P , E , W , N , T_{QB} , T_w , T_N , R , G .

При втором этапе движения движущей силой является равнодействующая сил Q_B , Q_n , а тормозящей силой — равнодействующая сил: веса щита $-G$, сил трения T_p , T_{QB} , T_N .

Из условия возможного движения щита во втором этапе (вра-



1, 2 — периоды I-го этапа движения щита
3 — период отбойки угля без движения щита
4 — период II-го этапа движения щита

Рис. 7. Очередность отбойки угля под щитом за 1 цикл.

ние щита еще не наступило ввиду упора среднего шарнира в бровку угольного уступа и сектора в берму.

4. Взрывается уголь на площади 4; щит, имеющий теперь точку **А** опоры в почву пласта, разворачивается на угол 2γ и, сохраняя благодаря секторным опорам свои габариты по мощности, перемещается на уровне бермы до упора в грудь забоя.

Процесс выемки угля в 4 приема составляет один цикл посадки щита. Поскольку щиты наклонного падения не испытывают динамических ударов в той мере, как это наблюдается при вождении щитов на крутом падении, то шаг посадки в нашем случае может быть допущен до 1,5 м, что должно быть установлено в конкретных условиях опытным путем. Надо иметь в виду, что чем крепче уголь и кровля пласта, тем больше шаг посадки.

Конструктивное описание шагающего щита

Конструкция перекрытия состоит из двух щитов, шарнирно связанных между собой: верхнего—со стороны висячего бока и нижнего—со стороны лежачего бока. Описание их осуществим в пяти направлениях: верхнего и нижнего щита, шарнирного соединения, монтажа щита и сущности приемов его вождения.

По существующей классификации предлагаемая конструкция напоминает сдвоенные бессекционные щиты. Верхний, как и нижний щит, представлен накатником, скрепляемым гибкими стальными поясами из швеллерных балок. Бревна накатника попарно скреплены между собой хомутами так, что один болт хомута проходит через отверстие в швеллерной балке. Торцы бревен окованы котельным железом. Со стороны висячего бока укрепляются фартуки против прорыва пород под щит. Такие же фартуки перекрывают шарнирное соединение. Поверх бревен укладываются два ряда проволоочной сетки, пришитых к бревнам скобами. Со стороны угольного забоя к верхнему щиту подвешаны на пяти хомутах каждая металлическая пространственная ферма (рис. 5), выполняющая роль скользящей секторной опоры.

Нижний щит подобен верхнему, но не имеет секторной опоры.

Бревна накатника верхнего и нижнего щитов образуют по линии шарнира гребенку, так как они разной длины. Вдоль этой гребенки верхнего щита установлена двутавровая балка, служащая осью шарнира. В то же время удлиненные бревна нижнего щита имеют соответствующие отверстия, куда входит шарнирообразующий двутавр.

Благодаря принятой конструкции шарнира и окантованных сталью овальных торцев бревен щиты надежно и прочно вращаются один относительно другого и опираются один в другой.

Длина щита принимается по опыту работ бессекционных щитов в 35 м.

Монтаж конструкции осуществляется в горизонтальном слое, вырабатываемом с обрушением (возможно с закладкой).

Рекомендуется следующий порядковый перечень основных работ по монтажу конструкции.

1. Проводятся три слоевых штрека на минусовом горизонте, в том числе штрек по середине пласта.

2. Уголь между штреками вынимается короткой лавой по простиранию с паспортом крепления обычного горизонтального слоя.

3. На почве этого слоя по мере его образования монтируется щит.

4. Кровля монтажной рассечки над готовым щитом обрушается или закладывается по опыту работ в горизонтальном слое.

5. В результате работ на минусовом горизонте в монтажном слое будет достигнуто такое положение, когда на почве слоя площадью примерно 300 кв. м покоится сдвоенный гибкий щит. К этому времени должны быть пройдены углеспускные печи.

6. Под верхним щитом проходится канава для транспортировки и монтажа разборных металлических элементов секторной опоры. Надо иметь в виду, что главный ее вилкообразный пояс был скреплен со щитом заблаговременно в период начальных работ на минусовом горизонте.

7. После завершения подвески примерно 20 штук секторных опор на верхний щит опускаем нижний щит на 60° относительно горизонта. По сути дела после этого щит считается в рабочем состоянии, если, конечно, в смежном щитовом столбе уже уложена контрольная часть (скажем, 6 м) нового щита.

Условия применения и достоинства

Область применения предлагаемых щитов—весьма мощные пласты в 7—12 метров с углом падения от 25° до 55° . Угли не должны быть слабыми, а породы кровли должны идти на самообрушение.

Реально создание подварианта предложения для крепких пород кровли с закладкой выработанного пространства. При углах падения пластов $25-30^\circ$ во всех случаях необходимо применение закладки ввиду того, что обрушившиеся породы при таких углах не будут оказывать на щит необходимого давления; при этих же углах падения пласта необходима скреперная доставка угля вдоль щита.

На шахтах с гидромеханизацией рациональна будет гидравлическая отбойка и транспортирование угля.

Если сила трения скольжения секторной опоры об угольную берму в условиях пласта с углом падения $25-30^\circ$ окажется чрезмерной, то трение скольжения следует заменить трением качения. С этой целью чугунные шары диаметром 8—10 см „засыпаются“ на стальную желобчатую дорожку под каждой опорой. По мере продвижения опоры шары выходят из-под нагрузки и переносятся вперед на ту же стальную дорожку.

Главные достоинства предлагаемой системы разработки состоят в том, что она позволяет мощные пласты наклонного падения разрабатывать со щитовым перекрытием вместо господствующего принципа послонной выемки.

Применение щитовой отработки вместо слоевых систем, как показывает опыт работы на шахтах 3—3 бис, „Манеиха“ и „Красногорская“, позволит экономить на 1 т угля не менее 10 рублей; производительность труда забойщиков повысится с 69 до 110 т в месяц, а добыча с одного забоя повысится с 2500 до 6000 т в месяц.