

УДК 622.831.245

В.О. Торро, С.И. Калинин, Н.Г. Сердобинцев

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОДСЕЧНОГО СЛОЯ И ПОДКРОВЕЛЬНОЙ УГОЛЬНОЙ ПАЧКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЛ. XXI В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ "ОЛЬЖЕРАССКАЯ-НОВАЯ"

Вынимаемая мощность подсечного слоя при отработке мощных пластов с выпуском подкровельной пачки определяется в основном геомеханическими факторами, которые должны обеспечить высокую безопасность работ и эффективный выпуск подкровельной пачки.

По результатам исследований авторов [1] для пластов мощностью 5,5-9,5 м рациональная мощность подсечного слоя составляет: при залегании в пределах активной кровли легко- и среднеобрушающихся пород – 3,0-3,5м; при труднообрушающихся породах – 2,8-3,0м. В зарубежной практике мощность подсечного слоя принимается в пределах 2,5 -3,0 м.

Мощность активной кровли для мощных пластов ( $h_{a.к.}$ ) зависит от вынимаемой мощности пласта ( $m_n$ ) и определяется из выражения:

$$h_{a.к.} = (3 - 4) m_n .$$

В нашем случае при вынимаемой мощности 6,25-9,75м, с учётом выпуска подкровельной пачки мощность активной кровли составит 19-39 м.

На проектируемом выемочном участке активная кровля пласта представлена разнотельными алевролитами средней обрушаемости и по нагрузочным свойствам относится к средней [2]. На отдельных участках непосредственно над пластом и в пределах активной кровли залегают мощные труднообрушающиеся слои крепких песчаников, склонные к зависанию и крупноблочному обрушению. На этих участках кровля по нагрузочным свойствам относится к тяжёлой.

Конструктивная высота планируемой к использованию механизированной крепи ZF-8000/22/35 составляет от 2,2 до 3,5 м. С учётом необходимого запаса раздвижности на нижнем и верхнем пределе вынимаемой мощности, вынимаемая рабочая мощность должна составлять 2,8-3,3м.

Таким образом, по результатам имеющихся исследований, опыту отработки мощных пластов с выпуском подкровельной пачки угля и конструктивным параметрам принятой механизированной крепи, рациональная мощность подсечного слоя предварительно находится в интервалах от 2,8м до 3,0м при труднообрушаемой кровле и от 3,0м до 3,3м при среднеобрушаемой кровле.

Окончательный выбор мощности подсечного слоя определен при отработке очистного забоя и будет определять способность оставшейся подкровельной пачки подвергаться эффективному её разрушению, обрушению и выпуску во всём диа-

пазоне её мощности.

Для эффективного выпуска угля подкровельной пачки её мощность должна обеспечивать разрушение угля силами горного давления над перекрытием секций механизированной крепи и обрушение непосредственно за ограждением на завальный конвейер без зависаний.

Согласно [3] мощность подкровельной угольной пачки, которая будет разрушаться горным давлением, и шаг её обрушения связаны выражением:

$$h_k^2 = \frac{6 \cdot (q_1 \cdot l_k^2 + \psi \cdot q_{зак})}{0.2 \cdot \sigma_{n.сж.у.}}$$

где  $h_k$  - мощность подкровельной угольной пачки, м;

$l_k$  - шаг обрушения подкровельной угольной пачки, м;

$q_1$  - равномерно распределенная нагрузка от пород кровли по поверхности подкровельной пачки, т/м<sup>2</sup>;

$\sigma_{n.сж.у.}$  - сопротивление одноосному сжатию угля подкровельной пачки, т/м<sup>2</sup>;

$\psi$  - параметр, определяемый опытным путём; в расчётах принимается в пределах 0,5-0,7м<sup>2</sup>;

$q_{зак}$  - закрепляющая нагрузка, действующая в месте заделки подкровельной пачки, т/м<sup>2</sup>.

Допустимый шаг  $l_k$  обрушения зависит от расстояния места выпуска угля от линии забоя и при выпуске угля за секцией механизированной крепи определяется из выражения:

$$l_k = l_{max} + l_{кр} ,$$

где  $l_{max}$  - удаление максимума опорного давления от кромки забоя подсечного слоя, м. Принимаем 4,5-5,5 м [3];

$l_{кр}$  - длина поддерживаемой части секции механизированной крепи с учетом допустимого зазора между козырьком крепи и забоем, м.

Подкровельная пачка, как консольная балка, закреплена впереди забоя подсечного слоя в месте расположения максимума опорного давления,

$$l_{кр} = l_1 + l_{nod} = 300 + 5060 = 5360 \text{ мм} = 5,36 \text{ м} ,$$

$l_{nod}$  - длина поддерживаемой части линейной секции с козырьком; допустимый зазор между забоем и козырьком крепи, принимаем 300 мм.

$$l_k = 4500 + 5360 = 9860 \text{ мм}$$

Минимальное ожидаемое значение равномерно распределенной нагрузки на пачку определяем по формуле

$$q_1 = \beta \cdot \gamma_{cp} \cdot h_{a.k.} = \frac{1.5 \cdot 2.3 \cdot (4 \cdot 3)}{l_k} = \frac{41,4}{9,86} = 4,2 \text{ н/в}$$

с учетом

$$l_{кр} = 5,3 \text{ м}, q_1 = 7,8 \text{ т/м},$$

где  $h_{a.k.}^1$  - мощность активной кровли, образующаяся от выемки подсечного слоя;

$$h_{a.k.}^1 = 4 \cdot m_{н.с.} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м};$$

$\beta$  - коэффициент концентрации напряжений, возникающий при статических нагрузках в угольной пачке, принимаем 1,5;

$\gamma_{cp}$  - средневзвешенный объемный вес пород в пределах активной кровли, принимаем  $2,3 \text{ т/м}^3$ .

Закрепляющая нагрузка консольной балки (пачки угля) определяется по формуле

$$q_{зак} = \gamma \cdot H = 2,57 \cdot 90 = 231 \text{ т/м}^2$$

$$q_{зак} = \gamma \cdot H = 2,57 \cdot 200 = 231 \text{ т/м}^2$$

где  $H$  - глубина удаления работ от дневной поверхности, м;

$\gamma$  - средневзвешенный объемный вес налегающих пород до дневной поверхности,  $\text{т/м}^3$ .

Результаты расчетов мощности подкровельной пачки угля, которая способна саморазрушаться и обрушаться за поддерживающей частью крепи ZF-8000/22/35, приведены в табл.2.

Таблица 2. Максимально допустимая мощность подкровельной угольной пачки при среднеобрушаемых породах кровли

$H, (\text{м})$	$l_k (\text{м})$	$q_1 (\text{т/м})$	$\gamma H (\text{т/м}^2)$	$h_k (\text{м})$
90	5,3	7,8	231	3
	9,86	4,2	231	3,6
200	5,3	7,8	514	3,45
	9,86	4,2	514	4,1

Таким образом, расчеты показывают, что указанная мощность составляет:

- при глубине горных работ 90м – 3-3,6 м;
- при глубине работ 200м – 3,4-4,1м.

При средней мощности подсечного слоя 3,3м и средней мощности пласта 21, равной 7м, мощность подкровельной пачки будет составлять 3,7м.

Следовательно, отработку пласта XXI целесообразно проектировать следующим образом:

- мощность подсечного слоя принять 3,3м;
- мощность подкровельной пачки 3,6-4м.

При определении периодичности (шага) обрушения, подкровельную пачку рассматриваем как непосредственную кровлю.

Для определения шага первичного обрушения используем выражение, полученное для условий шахт Южного Кузбасса [5]:

$$l_{к.п.} = 0,84 \cdot \left( \sqrt{\sigma_{сж.у.} \cdot h_k} - 3,3 \right) \cdot K$$

где  $\sigma_{сж.у.}$  - предел прочности на одноосное сжатие угля подкровельной пачки, МПа;

$h_k$  - мощность подкровельной пачки, м;

$K$  - коэффициент размерности  $K = \left( \frac{1}{\text{МПа} \cdot \text{м}} \right)$

Формула определения шагов последующих осадок кровли по исследованиям К.В. Руппенейта [3] имеет вид:

$$l_k = 0,89 \cdot h_k \cdot \sqrt{\frac{\sigma_p}{\gamma \cdot H}}$$

где  $\sigma_p$  - сопротивление растяжению пород слоя,  $\text{т/м}^2$  (угля подкровельной пачки), МПа.

Для угля подкровельной пачки принимаем среднее значение  $\sigma_p = 100 \text{ т/м}^2$  (1 МПа) и  $\gamma = 2,57 \text{ т/м}^3$ .

Расчеты выполнены для различной мощности подкровельной пачки от 2,95 до 6,95 м и при мощности подсечного слоя 2,8, 3,0 и 3,3 м. Шаг обрушения подкровельной пачки сравнивается с длиной поддерживающей части крепи ZF-8000/22/35. Результаты расчетов приведены в табл.3.

Таблица 3. Расчётные шаги первого и последующих обрушений подкровельной угольной пачки

Мощность подсечного слоя, м	Мощность подкровельной пачки, м min/max	Шаг обрушения, м		
		перво-го	последующих по Руппенейту	
			H = 90 м	H = 200 м
2,8	3,45	2,6	2,0	1,4
	6,95	4,9	4,0	2,7
3,0	3,25	2,5	1,9	1,3
	6,75	4,8	4,0	2,6
3,3	2,95	2,2	1,7	1,16
	6,45	4,6	3,8	2,5

По результатам расчётов, при мощности подсечного слоя от 2,8 до 3,3 м шаг первого обрушения подкровельной угольной пачки составит от 2,2 до 4,9м, для последующих её обрушений от 0,95 до 4,3 м и не выходит за пределы длины поддерживающей части крепи ZF-8000/22/35, первичное и последующее обрушение подкровельной угольной пачки будут происходить над поддерживающей частью механизированной крепи или сразу же за ней. По длине поддерживающей части механизированной крепи (5,3 м) можно ожидать от одного до пяти обрушений подкровельной пачки. Длина образующихся блоков, равная расчётному шагу последующих обрушений (1,16 -4 м), будет определять шаг выпуска угля на завальный конвейер.

Расчётные шаги обрушений при средней мощности пласта 7 м приведены в табл. 4.

Проведенные расчеты показывают, что принятая мощность подкровельной пачки 3,7м (пределы 3,6-4,2 м) надежно обрушается с шагом 2,8-3,2м

при первичной осадке и с шагом 1,5-2,5м - при последующих осадках.

Таблица 4. Расчётные шаги обрушений при средней мощности пласта 7м

Мощность подсечного слоя, м	Мощность подкровельной пачки, м min/max	Шаг обрушения, м		
		перво-го	последующих по Руппенейту	
			H = 90 м	H = 200 м
2,8	4,2	3,2	2,5	1,6
3,0	4,0	3,0	2,3	1,6
3,3	3,7	2,8	2,2	1,5

Разрушение угля подкровельной пачки в зоне максимального опорного давления является нежелательным, так как это осложнит взаимодействие механизированной крепи с подкровельной пачкой.

Условие разрушения (неразрушения) угля в зоне опорного давления определяется следующим уравнением неравенства [2]

$$C \cdot (\sigma_{сж.у.} \cdot l_k \cdot K_{\phi}) > \beta \cdot [(\gamma_{а.к.} \cdot h_{а.к.} \cdot L_{об}) + (H - h_{а.к.}) \cdot l_k \cdot \gamma_n] \cdot n,$$

где  $\beta = 1,5$ ;  $\gamma_{а.к.} = 2,56 \text{ т/м}^3$

$\gamma_n$  – объемный вес пород до дневной поверхности,

$h_{а.к.} = 4 \times 7 = 28 \text{ м}$  принимаем по значению всей вынимаемой мощности пласта ;

$H = 90 \text{ м}$  – минимальная глубина,  $200 \text{ м}$  - максимальная глубина;

$\sigma_{сж.у.} = 1200 \text{ т/м}^2$ , с учетом коэффициента длительной прочности будет составлять

$$\sigma_{сж.дли} = K_t \cdot \sigma_{сж.у.} = 0,74 \cdot 1200 = 888 ;$$

$K_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий длину зависающей консоли подкровельной пачки угля и мощность подкровельной пачки угля, согласно [3] коэффициент формы определяется зависимостью

$$K_{\phi} = 0,5 + 0,05 \cdot \frac{l_k}{h_k} = 0,5 + 0,05 \cdot \frac{9,86}{3,7} = 0,99 ,$$

$$l_k = 9,86 \text{ м},$$

$h_k$  задаем средним значением  $3,7 \text{ м}$ ;

$L_{об}$  – шаг обрушения активной кровли при вторичных осадках

$$L_{об} = 0,89 \cdot h_{а.к.} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{р.у.}}{\gamma_n \cdot H}} ;$$

$\sigma_{р.у.}$  – сопротивление угля на растяжение, принимаем  $100 \text{ т/м}^2$ ,

$L_{об} = 16,4 \text{ м}$  при  $H = 90 \text{ м}$  и  $L_{об} = 11 \text{ м}$  при  $H = 200 \text{ м}$

$n$  – коэффициент запаса прочности подкровельной угольной пачки,  $n = 1,2$ ;

$C$  – пересчетный коэффициент,  $C = 1 \text{ м}^{-1}$ .

По представленным исходным данным рассчитаем коэффициент запаса прочности угольной

подкровельной пачки:

$$\text{при } H = 90 \text{ м } n = 2,8$$

$$\text{при } H = 200 \text{ м } n = 1,4$$

Расчеты показывают, что разрушение подкровельной пачки угля мощностью  $3,7 \text{ м}$  впереди забоя подсечного слоя в зоне максимального опорного давления происходит не будет, коэффициент запаса прочности составляет  $1,4-2,8$ .

При передвижке секций механизированной крепи нарушается контакт пачки угля с перекрытием секции крепи. Пачка в этот период работает как консольная балка, защемленная в зоне максимального опорного давления. Вероятность обрушения пачки в это время под секционное пространство является максимальной.

Расчет выполняется для следующих условий:

- длина консольно зависшей балки принимается максимальной, равной  $5,3 \text{ м}$ ;

- секции передвигаются поочередно по одной, шаг передвижки  $0,8 \text{ м}$ ;

- давление на угольную пачку формируется породами, залегающими в пределах мощности активной кровли, мощность активной кровли составляет  $28 \text{ м}$ ;

- сопротивление угля пачки на изгиб составляет  $2,6 \text{ МПа}$ ;

- глубина горных работ максимальная,  $200 \text{ м}$ ;

- коэффициент запаса прочности угольной пачки  $1,2$ .

Определим наиболее вероятный пригруз пород на консольно зависшую подкровельную пачку

$$q = h_{а.к.} \cdot \gamma_{а.к.} = 28 \cdot 2,56 = 71 \text{ т/м}^2$$

Предельно устойчивая толщина пачки определяется по формуле [6]

$$q_k = l_k \cdot \sqrt{q \cdot \frac{n}{2\sigma_{3,y}}} = 5,3 \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot 1,2}{2 \cdot 260}} = 21 \text{ м}$$

Устойчивость пачки при длине её зависания  $5,3 \text{ м}$  обеспечивается при мощности не менее  $2 \text{ м}$  и обрушение подкровельной пачки мощностью  $3-4 \text{ м}$  (средняя  $3,7 \text{ м}$ ) в подкровельное пространство при передвижке секций крепи исключается.

На рис. 1 представлены графики изменения параметров обрушения подкровельной пачки угля от соотношения мощностей пачки и подсечного слоя. Графики получены по результатам моделирования технологии отработки слоев мощного пласта IV-V в условиях шахты "Усинская" в восходящем порядке (сначала обрабатывается нижний слой, затем верхний). Мощность пласта  $9,6 \text{ м}$ . Мощность подсечного слоя (нижнего) менялась от  $1$  до  $4 \text{ м}$ , мощность верхнего слоя соответственно от  $8,6$  до  $5,6 \text{ м}$ . Угол падения пласта  $6-7^\circ$  [4].

Установлено, что при  $K=4$  и более верхний слой при обрушении плавно опускается на почву без значительных деформаций угля, шаг обрушения составляет  $14-16 \text{ м}$ . При снижении коэффициента  $K$  до  $2$  происходит снижение шага обрушения верхнего слоя до  $1,5-2 \text{ м}$ , а угол наклона блоков угольной пачки увеличивается до  $25-30^\circ$ .

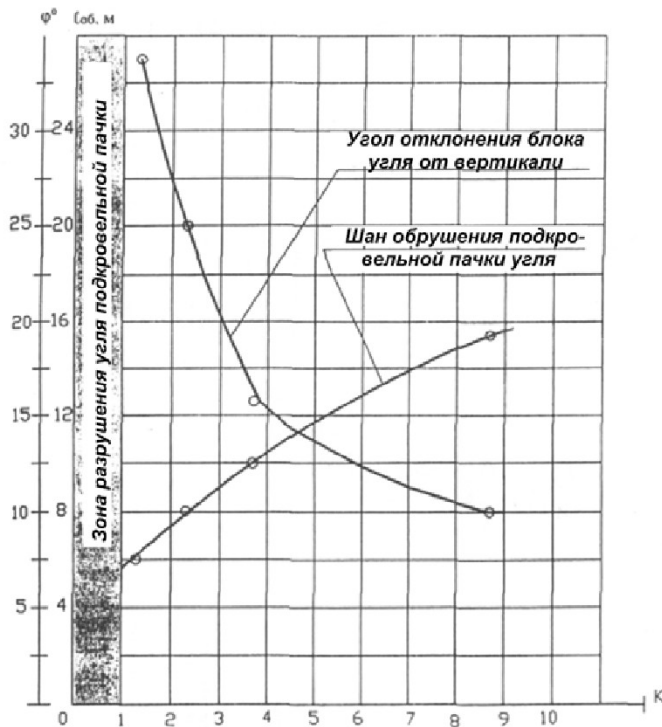


Рис. 1. Зависимость параметров разрушения угля подкровельной пачки от кратности отношения мощностей пачки к мощности подсечного слоя

Уголь слоя деформируется, обрушаясь на всю мощность.

Из графиков видно, что для технологии с выпуском угля подкровельной пачки следует отношение мощностей пачки и подсечного слоя принимать в пределах 1-2. Тогда подработка подкровельной пачки эффективна, надежность разрушения угля силами горного давления возрастает.

$$K = \frac{h_k}{m_{п.с.}} - \text{кратность отношения мощностей}$$

подкровельной пачки к мощности подсечного слоя;

$l_{об}$  – шаг обрушения подкровельной пачки угля;

$\varphi$  – угол отклонения блока угля подкровельной пачки от вертикали;

$m_{п.с.}$  – мощность подсечного слоя.

Рекомендуемая мощность подсечного слоя по среднему значению составляет 3,3 м, мощность подкровельной пачки при средней мощности пласта 7 м составляет 3,7 м. Кратность отношения мощностей равна

$$K = \frac{h_{к.п.с.}}{m} = \frac{3.7}{3.3} = 1.12$$

Таким образом, правильность выбора мощностей подсечного слоя (3,3 м) и подкровельной пачки (3,7 м) подтверждается графиками, полученными экспериментально для условий пласта IV-V.

Окончательно при отработке пласта 21 в пределах выемочного столба 21-1-5 раскройку пласта предлагается провести с отношением мощностей подкровельной пачки и подсечного слоя 1,12, среднюю мощность подсечного слоя принять 3,3 м, среднюю мощность подкровельной пачки 3,7 м.

Принятая методика проведения раскройку пласта 21 на слои – мощность подсечного слоя и мощность подкровельной угольной пачки – подтвердилась эксплуатационными испытаниями технологии при отработке лавы 21-1-5.

Мощность подсечного слоя, взаимодействие крепи с почвой пласта и подкровельной пачки, мощность подкровельной пачки, принятая равной 3,7-4,4 м не вызвала затруднений с её выпуском без применения принудительных способов разрушения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выбор параметров технологии отработки мощных пластов с выпуском межслоевых и подкровельных пачек угля / И.А. Шундулиди, А.С. Марков, С.И. Калинин, П.В. Егоров. - Кемерово. - Кемеровское книжное издательство.- 1999.- 258с.
2. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°.Л., 1982, 136с.
3. Совершенствование технологии отработки мощных пластов Ольжерасского месторождения / И.А. Шундулиди, С.И. Калинин, П.В. Егоров, В.И. Храмцов. - Кемерово, 2001. - 63с.
4. Управление горным давлением при разработке пластов с труднообрушаемой кровлей / С.И. Калинин, А.Ф. Лютенко, П.В. Егоров, С.Г. Дьяконов. - Кемерово: Кем. кн. изд-во, 1991.- 248с.
5. Громов Ю.В., Бычков Ю.Н., Кругликов В.П. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля. - М.: Недра, 1985. Разработать технологию отработки мощных пологих пластов слоями в восходящем порядке. /Отчёт по НИР 05925070000: КузНИУИ.- Прокопьевск, 1991.- 63с.

□ Авторы статьи:

Торро  
Виктор Оскарович  
– соискатель каф. разработки  
месторождений полезных иско-  
паемых КузГТУ.

Калинин  
Степан Илларионович  
– докт.техн.наук, руководитель  
НИПКП-УТК, зам. дир. филиала  
КузГТУ (г. Прокопьевск).  
Тел.8(38466) 3-81-61

Сердобинцев  
Николай Григорьевич  
– старший научный сотрудник  
НИПКП-УТК  
Тел.8(38466) 3-81-61