Записки Ленинградского Ордена Ленина Горного Института. Том XIX, 1946
Annales de l'Institut des Mines à Leningrad. Vol. XIX, 1946

Значение скорости подвигания забоев при очистных работах

Проф. *В. Д. Слесарев*

The importance of Rate of Advance of second Workings

Prof. *V. D. Slesarev*

Скорость подвигания забоев, как известно, имеет большое значение не только с точки зрения производительности того или другого участка, но и с точки зрения безопасности работ, облегчения условий управления горным давлением (управлением кровлей), а также и экономии расхода крепежных материалов. Весьма большое значение имеет скорость подвигания при разработке сближенных пластов.

В практике горных работ имеются случаи, когда получение рентабельных результатов при разработке месторождений обеспечивается почти исключительно за счет только достижения высоких скоростей подвигания очистных забоев.

Случаи завала лав, срыв добычи, большой расход крепежных материалов также во многих случаях объясняются только исключительно медленным подвиганием забоев.

Эти обстоятельства требуют внимательного подхода к скорости подвигания как к фактору, играющему чрезвычайно важную роль в эксплоатации месторождений.

Остановимся на скорости подвигания забоев с точки зрения влияния этой скорости на поведение пород кровли.

Породы кровли в выработанном пространстве (рабочем) определенным образом деформируются, причем деформация этих пород не является, как видно из повседневных наблюдений, величиной постоянной, а все время возрастающей и приводящей в большинстве случаев практики к разрушению этих пород, т. е. к их обрушению.

Как известно, общая деформация тела e, вызванная нагрузкой p, действующей в течение времени t, выражается согласно закону Гейсса формулой:

$$e = f(p) + f_1(p_1 t),$$

где $f(p)$ — деформация упругая, зависящая только от нагрузки p и происходящая почти мгновенно по ее приложении; $f_1(p_1 t)$ — деформация остаточная, зависящая как от величины нагрузки p, так и от продолжительности действия этой нагрузки t.

Справедливость данного положения доказывается целым рядом опытных наблюдений (Вертгейм, Лашателье, Вика, Буасе, Людвик, Закс и др.). Например, для меди Вельтер установил, что при испытании в течение:

1	дня	предел	пропорциональности	равен 4000 кг/см^2
25	„	„	„	3000 „
110	„	„	„	1600 „

Для горных пород влияние времени на величину деформации было подтверждено известными опытами Филипса над образцами песчаника и сланца из Ланкашира, показавшими, что общая деформация таких образцов слагается из мгновенно наступающей деформации (упругой) и медленно возрастающей деформации, названной Филипсом „осадкой времени" (time yield).

Многочисленные опыты показывают, что чем материал пластичнее, тем значительнее для его деформации влияние времени. Однако пластичность или хрупкость не являются неотъемлемыми свойствами того или другого материала, а являются следствием, как показывает физика твердого тела, условий, в которых находится материал, и характера его загружения. Опытные исследования Консидера, как известно, с достаточной полнотой подтверждают данное положение.

Медленное загружение или продолжительное действие нагрузки создают все условия для развития пластических деформаций. Для горных пород примером, иллюстрирующим развитие пластических деформаций при продолжительном действии нагрузки, служит явление прогиба песчаника на 1,5 м за 10 лет, имевшее место на главном квершлаге горизонта 261 м шахты Венценслаус, наблюдавшееся доктором инж. Гертнером.

При более или менее значительных нагрузках явление прогиба может перейти в обрушение, многочисленные примеры которого дает повседневная практика горных работ.

К сожалению, в настоящее время мы еще не имеем возможности выразить связь между деформацией, нагрузкой и временем математически, но можем вполне определенно сказать, что влияние времени на деформацию горных пород сказывается в уменьшении сопротивления этих пород нагрузкам.

Условия равновесия, а следовательно и поведение кровли выработки неограниченно большой длины при ширине ее l, сопротивлении породы на разрыв K_p, объемном весе породы γ и мощности породы h, как известно, характеризуются выражениями (В. Д. Слесарев. Крепление подземных горных выработок. Вопросы управления кровлей), сведенными в табл. 1.

Таблица 1

Пролеты (ширина) выработок		Поведение кровли в выработках, имеющих пролет l
Без учета закрепления кровли на стенках выработки — линзовидное залегание пород кровли	С учетом закрепления на стенках выработки — выдержанные пласты кровли	
1. $L_I = \sqrt{\frac{4 \cdot K_p \cdot h}{3 \cdot \gamma}}$ (1)	$L_I' = \sqrt{\frac{2 \cdot K_p \cdot h}{\gamma}}$ (2)	При пролетах выработки $l \leqslant L_I$ или $l \leqslant L_I'$ кровля выработки испытывает только упругие деформации. Остаточные деформации проявляются только в результате действия времени.

Продолжение таблицы 1

Пролеты (ширина) выработок		Поведение кровли в выработках, имеющих пролет l
Без учета закрепления кровли на стенках выработки — линзовидное залегание пород кровли	С учетом закрепления на стенках выработки — выдержанные пласты кровли	
2. $L_{II_a} = \sqrt{\frac{2 \cdot K_p \cdot h}{\gamma}}$ (3)	$L_{II'_a} = \sqrt{\frac{3 \cdot K_p \cdot h}{\gamma}}$ (4)	При пролетах выработки $L_I < l \leqslant L_{II_a}$ или $L_I' < l \leqslant L_{II'_a}$ кровля выработки испытывает и упругие и остаточные деформации сразу же после прохождения.
3. $L_{II} = \sqrt{\frac{8 \cdot K_p \cdot h}{3 \cdot \gamma}}$ (5)	$L_{II}' = 2 \cdot \sqrt{\frac{K_p \cdot h}{\gamma}}$ (6)	При $l = L_{II_a}$ или $l = L_{II'a'}$ кровля выработки испытывает максимально возможный прочно без разрыва сплошности. При пролетах выработки $L_{II_a} < l \leqslant L_{II}$ или $L_{II'a} < l \leqslant L_{II'}$ в кровле выработки сразу же по прохождении ее появляются трещины разрыва. Возможно частичное обрушение кровли
4. $L_{III} = 2 \cdot \sqrt{\frac{K_p \cdot h}{\gamma}}$ (7)	$L_{III}' = 2{,}44 \sqrt{\frac{K_p \cdot h}{\gamma}}$ (8)	При пролетах выработки $L_{II} < l \leqslant L_{III}$ или $L_{II}' < l \leqslant L_{III}'$ происходит полное обрушение породы кровли во всю ее мощность.

Справедливость данных выражений подтверждается опытами лаборатории горного давления Ленинградского Горного Института, а также данными Below, французских лабораторий и теоретическими соображениями Баха.

Для пород слоистых, как известно, соответственно указанным предельным пролетам будем иметь:

1) Высоту зоны обрушения.

При линзовидном залегании пород кровли (без учета закрепления кровли на опорах):

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{4 \cdot K_p}. \qquad (9)$$

При выдержанных пластах кровли (с учетом закрепления на опорах):

$$h = \frac{\gamma \cdot p}{6 \cdot K_p}. \qquad (10)$$

2) Высоту зоны трещинообразования.

При линзовидном залегании пород кровли:

$$h = \frac{3 \cdot \gamma \cdot l^2}{8 \cdot K_p}. \qquad (11)$$

При выдержанных пластах кровли:

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{4 \cdot K_p}. \qquad (12)$$

3) Высоту зоны пластического прогиба (без трещинообразования).

При линзовидном залегании пород кровли:

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{2 \cdot K_p}. \qquad (13)$$

При выдержанных пластах кровли:

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{3 \cdot K_p}. \qquad (14)$$

4) Высоту активной зоны, в пределах которой породы оказывают влияние на выработку.

При линзовидном залегании пород кровли:

$$h = \frac{3 \cdot \gamma \cdot l^2}{4 \cdot K_p}. \qquad (15)$$

При выдержанных породах кровли:

$$h = \frac{\gamma \cdot l^2}{2 \cdot K_p}. \qquad (16)$$

В вышеприведенных выражениях предельных пролетов (1) — (8), а также в выражениях высот (глубин) зон обрушения, трещинообразования, прогиба, активной зоны значение времени сказывается в уменьшении сопротивления породы K_p, т. е. в уменьшении величины предельных пролетов и в возрастании глубины соответствующих зон.

Таким образом, условия равновесия кровли одной и той же выработки в различные периоды существования этой выработки будут различны, особенно это обстоятельство резко сказывается на выработках, пролеты которых близки по своей величине к тому или другому предельному пролету. В таких выработках изменение условий равновесия кровли происходит очень быстро, резко и глубоко.

К таким выработкам относятся в первую очередь очистные забои, где наблюдается очень быстрое наступление явлений расслаивания кровли, ее коржение, образование трещин и наконец обрушение.

Во многих случаях удержать кровлю остановленного очистного забоя от обрушения, т. е. удержать забой от завала, представляется совершенно невозможным, примером чего может служить практика поддержания выработок в период всеобщей забастовки горнорабочих в Англии в 1926 г.

Действительно, если пролет некоторой выработки l в первый период времени по ее прохождении удовлетворяет условиям равновесия кровли первого предельного пролета, т. е.

$$l \leqslant \sqrt{\frac{2K_p \cdot h}{\gamma}},$$

то через некоторое время, благодаря уменьшению сопротивления K_p, этот пролет будет удовлетворять уже условиям второго предельного пролета:

$$l = \sqrt{\frac{3 \cdot K_p \cdot h}{\gamma}} \quad \text{или} \quad l = 2 \cdot \sqrt{\frac{K_p \cdot h}{\gamma}},$$

т. е. в кровле выработки обнаружится сначала явление прогиба, а затем и трещинообразования, а еще через некоторое время благодаря продолжающемуся падению сопротивления K_p этот же пролет выработки будет удовлетворять условиям равновесия кровли третьего предельного пролета:

$$l = 2{,}44 \cdot \sqrt{\frac{K_p \cdot h}{\gamma}},$$

а следовательно произойдет полное обрушение кровли. В подготовительных выработках, имеющих обычно сравнительно небольшие пролеты, нагрузка со стороны кровли (в обычных породах) сравнительно невелика, а потому удлинение срока существования выработки главным образом сказывается на возрастании горного давления до известного предела, так как кривая возрастания деформации кровли, обусловливающей величину горного давления, асимптотически приближается к предельному значению (разрушению кровли), не достигая последнего, аналогично опытам Консидера, Фэрбэна и других над возрастанием деформаций проволок и чугунных брусков под длительным действием нагрузок незначительной величины.

Другого рода дело мы будем иметь в очистных выработках, где действуют нагрузки значительной величины.

При таких нагрузках падение сопротивления K_p во времени должно обязательно привести к разрушению кровли, т. е. к завалу лавы, что и подтверждается практикой горных работ. Так, например, анализируя 38 случаев завала лав по трестам Караганды (Ленинуголь, Кировуголь, Сталинуголь), необходимо 70% этих завалов отнести главным образом за счет перестоя лав. Такую же картину ухудшения условий очистных работ в связи с увеличением срока их существования мы видим и в других бассейнах, а также и за границей.

За счет действия фактора времени, вызывающего падение сопротивления породы, необходимо отнести целый ряд весьма интересных случаев обрушения пород из горнорудной практики, например обрушение потолочины толщиной 8 м на шахте „Коммунар" рудника им. Дзержинского, происшедшее через 1 месяц после отработки камеры, или обрушение висячего бока залежи „Южная пачка" на шахте им. Кирова и целый ряд других случаев из практики Кривого Рога.

Отсюда совершенно понятны требования правильного ведения горных работ, выработанных долголетней практикой этих работ, сводящиеся к следующему: 1) всегда работы должны производиться под свежей кровлей, 2) период времени между постановкой стойки и ее выбивкой (при работах с обрушением кровли) должен быть минимальным.

С точки зрения рассматриваемого нами вопроса фактор времени имеет то значение, что, уменьшая сопротивление породы действующим на нее силам собственного веса (величину K_p), он увеличивает зону разрушительного влияния выработанного пространства нижележащего пласта на вышележащую толщу пород, т. е. увеличивает при прочих равных условиях зоны обрушения и трещинообразования, как это видно из выражений (9), (10), (11), (12).

Эти выводы подтверждаются данными специальных наблюдений Мидлэндского института горных инженеров на шахтах Западного Иоркшира („A study of roof and floor movements associated with different rates of face advance". Transactions of the Institution Mining Engineers, 1935), показавшими, что

1) максимальное оседание кровли происходит в забое с медленным неравномерным подвиганием;

2) сжатие породных полос в забое с медленным подвиганием больше, чем в забоях с регулярным ежедневным подвиганием.

Барраклоу на основании данных наблюдений над различными скоростями подвигания забоя в Ланкашире (Англия) говорит, что скорость подвигания забоя повышает интенсивность оседания кровли, однако отношение величины оседания к величине подвигания будет меньше для скорого подвигания (Iron and Coal Trades Review, 1937).

К тем же выводам приходит и Фортомм (Бельгия), т. е. что по мере возрастания скорости подвигания забоя оседание кровли и вспучивание почвы значительно уменьшаются, причем в ряде случаев это уменьшение идет в строгом соответствии с подвиганием забоя (Le fondroyage dirigé a Beeringen. Revue de l'Industrie Minerale, 1936).

Наблюдения Бабуэна на шахтах Саарской области (рудник Виктория — пласт Бейст, рудник Вельзен — пласт 8, рудник Меллин — пласт 13) также подтверждают данные положения.

Весьма интересные наблюдения Г. Н. Кузнецова на шахте ОГПУ (Донбасс) над поведением кровли при скоростях подвигания 0,3, 0,7 и 3,5 м в 1 сутки показали полную зависимость деформации кровли от времени; так, на расстоянии 6 м от забоя смещение кровли было следующее:

при скорости	0,27	м/сутки	18	мм/сутки
„ „	1,7	„	12	„
„ „	3,5	„	10	„

(Сборник трудов комиссии по управлению кровлей и доклады на первом Вседонецком совещании 1937 г., доклад Г. Н. Кузнецова).

Наблюдения Мидлэндского института, Барраклоу, Фортомма и других, показывающие, что отношение величины оседания к величине подвигания будет меньше для более быстрого подвигания, имеют весьма большое значение, как свидетельствующие о том, что быстрота подвигания забоя смягчает общий характер протекания процесса сдвижения вышележащей толщи пород, т. е. увеличение скорости подвигания, улучшая условия кровли очистного забоя, равным образом уменьшает и разрушительное влияние выработанного пространства на вышележащие пласты, как бы увеличивая их степень сближенности.

При рассмотрении выражений, определяющих глубины зон обрушения и трещинообразования, в числитель которых входит величина пролета выработки l [выражения (9) — (12)], может возникнуть вопрос, что с увеличением скорости подвигания, т. е. с увеличением пролета очистного пространства l глубина этих зон, или разрушительное влияние выработанного пространства на вышележащую толщу пород, увеличивается. Такое заключение, однако, было бы совершенно неверным, так как обрушение и трещинообразование относятся к конечной фазе остаточных деформаций, предшествующей фазой которых в нашем случае является пластический прогиб, которому в свою очередь предшествует упругая часть деформации — упругий прогиб. Все эти деформации и совершаются с различными скоростями, из которых наибольшей является скорость распространения упругих деформаций, как известно, равная скорости распространения звука в данной среде $\left(v = \sqrt{\frac{E \cdot g}{\gamma}}\right.$, где v — скорость, E — модуль упругости данного материала, g — ускорение силы тяжести, γ — объемный вес). Если бы возможно было достигнуть скорости подвигания, равной скорости упругих деформаций, то мы достигли бы наиболее благоприятных условий для кровли, последняя вовсе не испытывала бы остаточных деформаций и разрушительное влияние выработанного пространства не проявлялось бы вовсе или было бы сведено до минимума. Отпали бы в этих условиях и всякие заботы о поддержании (креплении) рабочего пространства очистного забоя.

Пластические деформации (пластический изгиб) могут протекать с различными скоростями, определяющимися величиной растягивающих усилий, возникающих в кровле выработки.

Начальный момент пластической деформации, очевидно, определяется моментом появления в кровле растягивающих усилий, т. е. моментом перехода пролета выработки при данном сопротивлении породы K_p, мощности кровли h и данном объемном весе γ через величину первого предельного пролета L_1' или L_1. Дальнейшее возрастание пролета выработки (ширины рабочего пространства) вызовет дальнейшее возрастание растягивающих

усилий, а следовательно и возрастание скорости пластической деформации, скорости пластического изгиба.

Возрастание скорости этого процесса, однако, имеет определенный предел, при переходе через который пластические деформации уже не успевают совершаться и происходит разрушение кровли, в ней появляются трещины, происходит выпадение глыб, обрушение.

Очевидно, этот момент отвечает исчерпанию несущей способности кровли и максимальная скорость пластического изгиба кровли соответствует моменту перехода пролета выработки через значения предельных пролетов $L_{\text{п}a}$ или $L'_{\text{п}a}$.

Для уменьшения вредного влияния выработанного пространства на вышележащую толщу пород необходимо, чтобы последняя, плавно изгибаясь без разрыва сплошности пород, ложилась на почву выработанного пласта.

Однако осуществление такого пластического изгиба пород, т. е. осуществление способа управления горным давлением плавным опусканием кровли (примером чего является разработка Семеновского пласта или второго Уразовского пласта в Донбассе) требует определенных условий.

Пластические деформации, как известно, относятся к той области напряженного состояния тела, в которой деформации возрастают значительно быстрее, чем напряжения. Чем больше интервал между пределом пропорциональности данного материала и его пределом прочности (временным сопротивлением), тем большей пластичностью характеризуется данный материал.

Пластические деформации, как показывают исследования этого вопроса, сопровождаются повышением предела текучести материала, т. е. эти деформации вызывают изменение физических свойств материала, создавая явления „наклепа“ или закаливания материала.

Горные породы обладают способностью принимать „наклеп“, т. е. упрочняться, будучи подвергнуты нагрузке, а затем освобождены от нее. Доказательством этого служит изменение физической характеристики пород в зоне Тромпетера, т. е. в зоне, освобожденной от напряжения, вызванного весом вышележащих пород. О повышении прочности пород при освобождении их от давления говорят приводимые Bulman данные многих наблюдателей над разработкой отдельных пачек угля в Англии (The Working of Coal and the other stratified mineral deposits), проф. Ячевского над слоевой выемкой мощных пластов в Домбровском бассейне, наблюдения проф. Шпакелера над изменением свойств глинистого сланца при работах в Верхней Силезии (шахта „Лоберг“ и др.), данные об изменении крепости подработанных пластов угля, а также данные исследований К. Преклика, Гренгга, Баха, Баушингера и др.

Упрочнением материала вследствие пластической деформации возможно объяснить прекращение пластического изгиба пород при данной постоянной нагрузке.

Следует отметить, что горные породы в свежем состоянии обладают в большинстве случаев весьма небольшим пределом текучести.

Повышение предела текучести, уменьшая интервал между этим пределом и пределом прочности, ведет к увеличению хрупкости породы, что с точки зрения рассматриваемого нами вопроса — уменьшения разрушительного влияния выработанного пространства на вышележащую толщу пород — является весьма нежелательным.

Исследование пластических деформаций показывает, что скорость упрочнения не является величиной постоянной, она уменьшается вследствие процесса рекристаллизации („отжига“), протекающего также с некоторой скоростью V_p, зависящей от температуры, причем при данной температуре t скорость рекристаллизации есть величина постоянная.

Таким образом, состояние тела, а следовательно и пластический процесс изгиба пород являются функцией нескольких переменных, а именно — нагрузки p, вызывающей деформацию, протекающую с некоторой скоростью $V_{деф}$, скорости упрочнения $V_у$, скорости рекристаллизации $V_р$ и времени действия нагрузки t, т. е. скорость пластического изгиба, скорость деформации определяется выражением:

$$V_{деф} = f(p,\ V_у,\ V_р,\ t).$$

Как мы видели выше, пластические деформации кровли начинаются после перехода пролета выработки величины первого предельного пролета (L_I или L_I') и заканчиваются после перехода пролета L_{IIa} или L_{IIa}').

Очевидно, скоростью деформации кровли при этих пролетах и будет определяться предельная скорость пластической деформации кровли, после которой начинается уже ее разрушение (появление трещин, обвалов и пр.). Очевидно также, что пластическая деформация (плавный изгиб) кровли не может начаться для данного момента ранее, чем пролет выработки достигнет величины первого предельного пролета и не перейдет ее.

Отсюда следует, что ширина рабочего пространства для осуществления управления кровлей методом плавного опускания требует определенной для данных условий кровли величины, не может быть произвольно выбранной и должна быть постоянной во всех стадиях выемки.

Исходя из условий пластичности Мора, ширина рабочего пространства, при которой кровля начнет пластически изгибаться, определится из выражения:

$$l = 2 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot p_k \cdot h}{\gamma \cdot (1 - k)}}, \qquad (17)$$

где p_k — всестороннее внутреннее давление (сцепление); $k = \sin\varphi$ (где φ — угол внутреннего трения породы кровли); h — мощность кровли; γ — объемный вес породы кровли.

Чтобы этот процесс продолжался непрерывно, необходимо непрерывное перемещение рабочего пространства параллельно самому себе, с сохранением своего пролета l и притом с такой скоростью, чтобы процесс упрочнения не мог успевать переводить кровлю в хрупкое состояние.

Таким образом, осуществление плавного опускания кровли требует в первую очередь систематического, регулярного подвигания забоя.

С другой стороны, многочисленные опыты показывают, что материал приобретает свойство хрупкости в результате или продолжительного действия силы или продолжительного отдыха материала после нагрузки (опыты Баха, Баушингера над образцами пород).

Отсюда следует, что действие высоких растягивающих усилий в кровле выработки не должно быть долговременным; действию этих усилий (как растягивающих, так и сжимающих) должны подвергаться все новые и новые участки кровли, которые после непродолжительного действия таких напряжений переходят в менее напряженное первоначальное состояние, т. е. скорость подвигания забоя не должна быть менее определенного предела, определяемого минимальной скоростью пластической деформации.

Так как переход породы в первоначальное состояние определяется моментом, когда последняя получит опору в почве выработанного пространства, то, очевидно, скорость подвигания при прочих равных условиях должна быть тем больше, чем больше мощность разрабатываемого пласта.

В случае разработки сближенных пластов наиболее благоприятным для подрабатываемого пласта будет то положение, когда вмещающая пласт толща пород, плавно изгибаясь без разрыва сплошности, опускается в выра-

ботанное пространство нижележащего пласта. Опускание подработанной толщи, вообще говоря, представляет собой неравномерное движение, характер которого зависит от величины пролета рабочего пространства забоя, физико-механической характеристики пород кровли, мощности этой толщи, рода и характера крепления.

Давление со стороны кровли выработки, как известно, будет равно (см. В. Д. Слесарев. Крепление подземных горных выработок):

$$p = \gamma \cdot h - \frac{4}{3} \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}, \tag{18}$$

при линзовидном залегании пород кровли, и

$$p = \gamma \cdot h - 2 \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}. \tag{19}$$

при выдержанных пластах кровли.

Опускание кровли происходит под действием силы тяжести, и потому ускорение движения толщи будет равно:

$$c = \frac{g\left[\gamma \cdot h - \frac{4}{3} \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma \cdot h} \tag{20}$$

или

$$c = \frac{g\left[\gamma \cdot h - 2K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma \cdot h}, \tag{21}$$

где g — ускорение силы тяжести.

Оба выражения (20) и (21) относятся к случаю незакрепленной кровли.

При закрепленной кровле будем иметь:

$$c = Z \cdot \frac{g \cdot \left[\gamma \cdot h - \frac{4}{3} \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma \cdot h} \quad \text{или} \quad c = Z \cdot \frac{g \cdot \left[\gamma h - 2K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma \cdot h}, \tag{22}$$

где Z — коэффициент, зависящий от характера крепления забоя.

Скорость движения толщи будет равна:

$$v = ct = Z \cdot \frac{g\left[\gamma h - \frac{4}{3} \cdot K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma \cdot h} \cdot t \quad \text{или} \quad v = ct = Z \cdot \frac{g\left[\gamma h - 2K_p \cdot \frac{h^2}{l^2}\right]}{\gamma h} \cdot t. \tag{23}$$

Если рассматривать движение незакрепленной кровли, то при прочих равных условиях при величине пролета l, меньшей величины первого предельного пролета, т. е. при условии: $l < L_{\text{I}}$ или $l < L_{\text{I}}'$ кровля будет находиться в состоянии покоя.

Если будет соблюдено условие, что $L_{\text{I}} < l < L_{\text{II}_a}$ или $L_{\text{I}}' < l < L_{\text{II}_a}'$, то движение кровли будет замедленным.

Если пролет l будет больше L_{II_a}, т. е. при условии: $l > L_{\text{II}_a}$ или $l > L_{\text{II}_a}'$, то движение кровли становится ускоренным.

При определенно выбранном типе крепления очистного пространства движение кровли может превратиться в равномерное, что и наблюдается во многих случаях практики (В. Т. Давидянц. Исследование движений боковых пород при разработке пологопадающих пластов каменного угля).

Из выражения (23) следует, что при прочих равных условиях скорость опускания кровли будет тем больше, чем меньше сопротивление породы

на разрыв, чем меньше мощность породы, чем больше пролет рабочего пространства и чем больше время стояния кровли под защитой крепления. Отсюда вытекают следующие положения:

1) Обнажение кровли, т. е. пролет выработанного пространства, поддерживаемого крепью, должен быть минимально возможным (при работе на „отжим" угля для получения большего давления на забой иногда допустимы пролеты большей величины, чем это требуется условиями рабочего пространства).

2) Необходимо, чтобы период времени t (время поддержания кровли креплением) был минимально возможным, т. е. чтобы скорость подвигания забоя была максимально возможная и чтобы не допускались случаи „перестоя" забоев.

Необходимость увеличения скорости подвигания (уменьшение времени t) вытекает еще из тех соображений, что с течением времени сопротивление породы K_p падает и потому скорость опускания еще более увеличивается.

С точки зрения разработки сближенных пластов для уменьшения деформаций вышележащего пласта (в особенности при работах с обрушением кровли) необходимо стремиться к такому положению, чтобы стрела пластического прогиба вышележащей толщи пород, вмещающей подрабатываемый пласт, соответствовала мощности подрабатывающего (нижележащего) пласта и чтобы влияние фактора времени было сведено до минимума.

Отсюда следует, что чем больше мощность подрабатывающего пласта, тем бо́льшую скорость подвигания необходимо иметь при его разработке.

Из выражения (23) видно, что скорость движения кровли будет тем больше, а следовательно тем больше должна быть и скорость подвигания забоя, чем меньше сопротивление породы на разрыв, чем меньше мощность междупластия (при разработке сближенных пластов) и чем больше пролет рабочего пространства.

Важно достигнуть такого положения, чтобы стрела пластического прогиба толщи соответствовала мощности разрабатываемого пласта и чтобы до минимума было при этом сведено значение фактора времени. Отсюда следует, что чем больше мощность пласта, тем бо́льшую скорость подвигания забоя необходимо иметь.

Совершенно очевидно, что при достигнутых в настоящее время скоростях подвигания забоя плавное опускание толщи пород кровли может быть осуществлено не при всех условиях — любой мощности нижнего пласта в любой кровле, однако при всех условиях увеличение скорости подвигания забоя имеет только положительное значение, необходимо только, чтобы все операции по управлению кровлей совершались, насколько это возможно, также со скоростью, определяемой скоростью подвигания забоя (крепление рабочего пространства, производство обрушения, выкладка бутовых полос и т. п.).

Таким образом, основными условиями, определяющими наиболее благоприятное для разработки состояние кровли и минимальное разрушительное влияние выработанного пространства на вышележащую толщу являются 1) систематическое регулярное подвигание забоя, 2) возможно бо́льшая скорость подвигания забоя, 3) производство всех операций по управлению горным давлением со скоростью, соответствующей скорости подвигания забоя.

Этими положениями по существу определяется и выполнение известного „золотого правила" Керзона, что „наилучшее состояние кровли в забое будет достигнуто в том случае, если держать осадку в минимальном размере впереди забоя и не допускать изменения скорости ее в рабочем пространстве, закрепленном стойками".

Эти же положения отвечают и известным правилам, выработанным практикой горных работ, а именно: 1) всегда работать под свежей кровлей, 2) период времени между постановкой стойки и ее выбивкой должен быть минимальный.

Следует подчеркнуть еще другую сторону вопроса, связанную со скоростью подвигания забоя, а именно: вопрос общего режима работы забоя.

Рассмотрим для этого схему на прилагаемом рисунке.

Пусть имеем некоторую выработку *ADEF* пролетом l, перекрытую породой, мощностью h. Пусть объемный вес породы равен γ, временное сопротивление породы разрыву K_p.

Равновесие столба породы *ABCD*, как известно, определяется кривой давления *MNO*, уравнение которой при данном расположении координат имеет вид:

$$y = \frac{\gamma}{2K_p}[lx - x^2] - \frac{\gamma \cdot l^2}{12K_p}. \qquad (24)$$

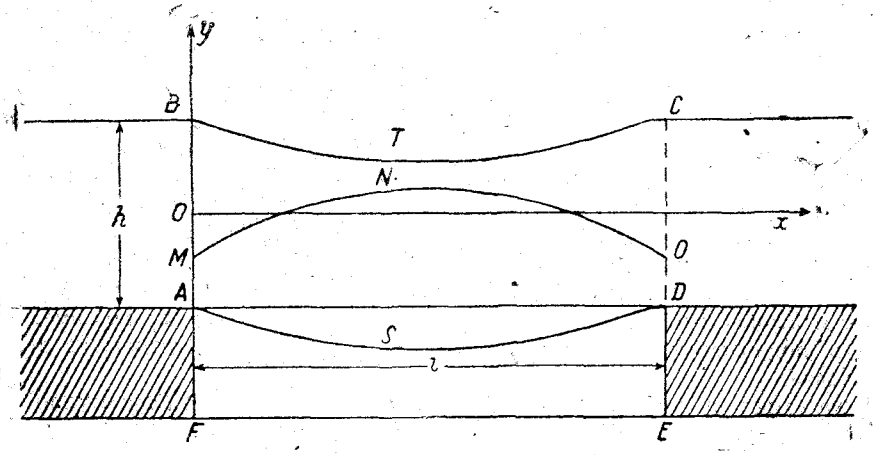


Рис. 1.

Напряженное состояние столба породы в сечении *AB* определяется значением y при $x = 0$, т. е. значением:

$$y_1 = -\frac{\gamma l^2}{12 \cdot K_p}.$$

Допустим, что забой *AF* продвинулся на некоторую величину, равную $\frac{l}{n}$, так что пролет выработки *ADEF* вместо l сделался равным $l + \frac{l}{n}$.

Тогда уравнение кривой давления, характеризующей условие равновесия столба породы с основанием, равным $\left(l + \frac{l}{n}\right) \cdot 1$, напишется следующим образом:

$$y = \frac{\gamma}{12K_p}\left[l\left(l + \frac{l}{n}\right)x - 6x^2 - \left(l + \frac{l}{n}\right)^2\right]. \qquad (25)$$

Уравнение (25) получается из уравнения (24) путем подстановки в последнее вместо l величины $l + \frac{l}{n}$.

Напряженное состояние по сечению *AB* будет теперь определяться значением y при $x = \frac{l}{n}$. В этом случае имеем

$$y_2 = \frac{\gamma l^2}{12K_p}\left[\frac{4}{n} - 1 - \frac{1}{n^2}\right]. \qquad (26$$

Из последнего выражения видно, что при любом возможном значении n величина y_2 будет или меньше y_1, или переменит свой знак, что показывает

что по мере подвигания забоя напряжение в точке B падает и порода в этой точке переходит в более устойчивую форму равновесия, т. е. опасность образования в этой точке трещины уменьшается.

Так как опасность разрушения породы увеличивается с увеличением времени действия силы и тем больше, чем больше действующая сила, то понятно, что наилучшие условия для кровли будут иметь место при непрерывном подвигании забоя.

Отсюда вытекает важность регулярного, систематического подвигания забоя. С точки зрения прочности кровли и резкости проявления деформаций совершенно не является одинаковым, если забой в одни сутки сделает два цикла, а вторые сутки будет стоять или если он каждые сутки будет делать один цикл. Хотя продвижение за двое суток в обоих случаях совершенно одинаково, тем не менее во втором случае условия кровли будут более благоприятными.

Все, что сказано относительно сечения AB и точки B, конечно, относится также и к сечению ST и точке S.

Значение регулярного и быстрого подвигания забоя подтверждается многочисленными примерами из практики горных работ.

Например, на участке № 5 шахты № 20 треста Ленинуголь (Караганда), разрабатывающей пласт „Верхняя Марианна", при регулярном суточном подвигании 1,8 м (один цикл), завалов лав не наблюдается вовсе, в то время как на других участках этой же шахты и по другим шахтам Караганды, разрабатывающим этот же пласт в тех же самых условиях, но имеющих скорость подвигания 0,6—1 м/сут., случаи завала лав наблюдаются достаточно часто.

То же самое мы имеем на шахте № 5 треста Востсибуголь (Черемхово), где при разработке пласта „Главный", с регулярным подвиганием 1,6—1,8 м/сут., завала лав не бывает, на других же шахтах этого треста при разработке этого же пласта, но с подвиганием порядка 0,8 м/сут. завалы лав представляют довольно частое явление.

Интересные данные приводит Бабуэн из практики разработки пласта „Бейст" на руднике „Виктория" (Саарская область), где все попытки удержать кровлю пласта от обрушения в лаве № 3 оказались безуспешными до увеличения скорости подвигания забоя до 3,7 м/сут., после чего в лаве не было ни одного обвала (M. B a b o i n. Quelques remarques faites dans les tailles exploitées par foudroyage dirigé aux mines de la Sarre. „Revue de l'Industrie minérale", 1935).

Об этом же говорят наблюдения Форкена над разработкой пласта „Гейнрих" на этом же руднике.

По данным Монтрама оседание кровли в забое при сплошной системе работ составляло:

При подвигании	1,4 м	оседание	0,100 м/сут.
„ „	5,5 „	„	0,037 „

Выводы Монтрама подтверждаются данными наблюдений английских исследователей (Report of R. Foulkner Trans. Inst. Min. Eng., 1936).

Увеличение скорости подвигания при одной и той же ширине рабочего пространства способствует уменьшению расхода крепежного леса.

Действительно, из выражения (23) видно, что с возрастанием времени стояния выработки t увеличивается скорость опускания кровли v, что при одной и той же массе опускающейся породы m ведет к увеличению количества движения $m \cdot v$, а следовательно и к увеличению импульса силы f; t_1, согласно закону, что количество движения равно импульсу силы:

$$m \cdot v = f \cdot t_1.$$

Так как степень податливости крепления определяется постоянной величиной t_1, то, следовательно, с возрастанием величины mv увеличится сила f и условия поддержания выработанного пространства изменятся в худшую сторону, что потребует увеличения расхода крепежного леса.

Сохранение постоянства величины v требует при данных условиях сохранения постоянного значения величины l, т. е. требует производства всех операций по управлению кровлей с такой же скоростью, с какой движется забой.

Это положение следует понимать таким образом, что если за данный промежуток времени рабочее пространство вследствие подвигания забоя со скоростью a сделалось равным $l + a$, то за этот же промежуток времени оно, вследствие производства закладки, выкладки бутовых полос, выкладки полос и производства обрушения между полосами или полного обрушения пород кровли, должно уменьшиться на величину a и, следовательно, сохранить постоянство своего значения l.

При соблюдении этого положения увеличение скорости подвигания при любых условиях может иметь только положительное значение, в противном же случае (запаздывание в производстве закладочных работ, выкладки бутовых полос, обрушении и т. п.) значительное увеличение скорости подвигания повлечет за собой, как это видно из выражения (23), увеличение интенсивности движения кровли, возможность появления динамических нагрузок и т. п.

Большое значение имеет скорость подвигания при разработке крутопадающих пластов потолкоуступным забоем при достаточной мощности пласта и при кливажистом угле.

Одно из возражений против применения потолкоуступного забоя при разработке наклонными слоями мощных пластов (например, Кузбасс) заключается в трудности удержания „бортов" (подошвы) уступов от обрушения.

В этом случае скорость подвигания приобретает существенное, если не решающее, значение с точки зрения устойчивости забоя и предупреждения внезапных вывалов угля, а также обрушения кровли.

Дело в том, что помимо чисто естественной трещиноватости и кливажности углей, вызванных как условиями образования пластов, так и последующими тектоническими процессами, в забое угольного пласта, а также в кровле и почве наблюдается появление так называемых „трещин давления", вызванных исключительно только самими горными работами.

Эта искусственная трещиноватость получила название „вынужденного" или „вызванного" кливажа (induced cleavage Фолькнера и Филлипса). Вынужденный кливаж обнаруживается, почти как правило, во всех очистных работах и в самых разнообразных по своему характеру районах — у нас он с большой резкостью наблюдается в Донбассе (например, на пласте „Толстый"), Подмосковном бассейне (например, на шахте № 10 треста Сталиногорскуголь), в Кузбассе (например, на пластах „IV Внутренний", „Горелый") и других местах, а также за границей, где трещины этого кливажа получили специальное название — „forward heading breaks", „backward heading breaks", „Drucklagerrichtung I", „Drucklagerrichtung II".

„Трещины давления", как правило, располагаются параллельно линии забоя, меняют свое направление с изменением направления линии забоя, всегда располагаясь параллельно этой линии.

Чем больше глубина разрабатываемого месторождения, чем глубже горизонт работ, тем интенсивнее проявляются трещины вынужденного кливажа.

Точно так же необходимо отметить, что чем больше высота забоя (мощность пласта, высота слоя), тем более резко проявляется вынужденный кливаж при прочих равных условиях.

Трещины вынужденного кливажа являются результатом деформации пласта под действием горного давления. Как всякая деформация, интенсивность их

проявления зависит от времени. Чем большее время один и тот же участок забоя подвергается действию горного давления, тем резче проявление трещин вынужденного кливажа, тем больше опасность разрушения забоя. При медленном подвигании забоя, при его простоях, трещины вынужденного кливажа появляются всегда, при быстром подвигании они могут и отсутствовать.

Многочисленные примеры практики полностью подтверждают данное положение.

Таким образом для устойчивости забоя, его кровли и почвы (при крутом падении) необходимо сокращение времени нахождения забоя или отдельных его участков под давлением, т. е. необходимо увеличение скорости подвигания забоя и тем большее, чем бо́льшую высоту имеет забой (необходимо всегда иметь „свежий" забой).

Следует отметить также, что регулярное, систематическое подвигание забоя с наиболее возможной скоростью позволит избегнуть куполовидного характера обрушения, имеющего при разработке сближенных пластов наиболее вредное действие на подрабатываемый участок, вызывая резкие деформации последнего. При медленном подвигании забоя первоначальные обрушения (первое полное обрушение при отходе лавы от разрезной печи) всегда имеют куполовидный характер (данные из практики Подмосковного бассейна, данные ЦНИМБа о сдвижении поверхности в Караганде, данные Падура о сдвижении в богемском буроугольном районе, данные Райса по наблюдениям в Пенсильвании и др.).

При быстром подвигании забоя, отсутствии простоев забоев возможно избежать образования куполов и иметь дело с более или менее спокойным и плавным опусканием подрабатываемой толщи.

Следует отметить, что указанное положение вполне согласуется с выводами проф. Бриггса (H. Briggs. Mining Subsidence), а также данными Royal Commission of Subsidence.

Особенно блестящим примером значения быстрого и регулярного подвигания забоя для уменьшения деформаций подрабатываемой толщи является выемка пришахтного целика в пласте „the Haigh Moor" на руднике the South Kirkby Colliery, проведенная Сноу (C. Snow. Removal of Shaft-pillar at South Kirkby Colliery. Trans. Inst. Min. Eng., 1916). При выемке этого целика не было обнаружено накаких более или менее резких деформаций в двух вышележащих пластах the Beamshow и the Barnsley, точно так же, несмотря на значительную величину оседания (около 1 м), никакого повреждения ни стволу, ни надземным сооружениям причинено не было.

Таким же примером может служить подработка городов Бохума, Эссена, Гельзенкирхена и др.

Таким образом, регулярное, систематическое и быстрое продвижение забоя при соответствующей скорости выполнения всех операций, связанных с управлением горным давлением, имеет положительное значение как с точки зрения разработки самого нижнего пласта, так и уменьшения разрушительного влияния его работ на вышележащую толщу, а следовательно и на подрабатываемый пласт.

Как показывают данные практики, наилучшими системами разработки подрабатывающего пласта, обеспечивающими минимальные деформации вышележащей толщи, являются сплошная система по простиранию с максимальной возможной длиной забоев (лава — этаж) и система длинных столбов по простиранию с максимальной высотой столбов.

Однако во многих случаях, особенно при разработке достаточно мощных пластов, большая длина лав служит вследствие организационных неполадок даже при наличии соответствующего оборудования препятствием для достижения надлежащей скорости подвигания.

Примером таких лав служат многие лавы в Караганде (на пластах „Верхняя Марианна", „Новый" и др.), имеющие длину порядка 200—300 м. Вообще говоря, указанная длина лав при правильной организации работ, наличии надлежащих кадров и оборудования является вполне приемлемой, что доказывается примером лавы шахты № 18 треста Снежнянантрацит, имевшей длину в 418 м с регулярным подвиганием в 55 м/мес. Однако во многих случаях такая длина служит, помимо других причин, также причиной весьма медленного подвигания, достигающего в лучшем случае порядка 30 м/мес., что является, конечно, весьма малым и недостаточным.

Опыт показывает (вышеупомянутая лава шахты № 18 Снежнянантрацита, заграничная практика в лавах длиной 400 м и более), что весьма полезным в этих случаях является условное деление длинной лавы на две части и более.

Для каждой такой части составляется твердый график работы и все графики лавы увязываются между собой во всех сменах в единый производственный процесс. Непременным условием такого графика является требование, что каждая смена готовит рабочее место для другой.

Выводы

В данной работе указывается, что скорость подвигания очистных забоев имеет значение не только с точки зрения увеличения производительности того или другого участка шахты, но и с точки зрения безопасности работ, облегчения условий управления горным давлением и экономии расхода крепежных материалов.

Рассмотрение вопроса подземной разработки месторождений приводит к заключению, что скорость подвигания забоев является фактором, играющим чрезвычайно важную роль в эксплоатации этих месторождений.

Увеличение скорости подвигания забоев при правильно выбранной системе разработки создает благоприятные условия при разработке сближенных пластов, уменьшая деформации подрабатываемых пластов.

Получение рентабельных результатов при разработке некоторых месторождений обеспечивается во многих случаях почти исключительно за счет только высоких скоростей подвигания очистных забоев.

Summary

In the present work it is noted that the speed of stope advancement is important not only regarding the increase of output of some or other sections of the shaft, but it is also important concerning the safety of work, facilities of roof control and also the economy of timber expenditure.

The review of the problem of underground mining of orebodies leads to the conclusion that the speed of stope advancement is the factor which plays the most important role in the exploitation of the given orebodies.

The increase of the speed of stope advancement when the selection of the method is correct makes conditions favorable at the mining of close—set layers.

Profitable results at the mining of some orebodies in many cases are got exclusively due to the high speed of stope advancement.