

УДК 622.831.24

УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ НА КРУТЫХ И КРУТОНАКЛОННЫХ ПЛАСТАХ С ТРУДНООБРУШАЕМЫМИ КРОВЛЯМИ

Питаленко Е. И., Васютина В. В.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

У поданій статті розглянуто питання, що стосуються вивчення структури покрівель, які важко обрушуються, й запропоновано методи безпечного керування цим видом покрівлі у виробленому просторі крутого і крутопохилого падіння.

In this article we consider problems related to study of the structure of poorly caving roofs and propose methods for safe control of this roof type in pitching and steeply dipping mined-out space.

Повышение объема подземной добычи угля в значительной степени зависит от эффективности разработки угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями.

При очистной выемке пластов с труднообрушаемыми кровлями управление этими кровлями осложняется по причине проявления первых и последующих осадок прочных слоев пород, зависающих в выработанном пространстве. Это приводит к повышенным нагрузкам на крепь, нарушению их податливости, деформации перекрытий, стоек и обрушениям кровли в призабойном пространстве [1].

Вместе с тем выбор и совершенствование способов и средств управления труднообрушаемыми кровлями осуществляются без необходимого научного и технико-экономического обоснования. Этим в значительной степени объясняется недостаточная эффективность управления горным давлением при труд-

нообрушаемых кровлях, что сдерживает нагрузку на очистной забой, приводит к потерям крепи и снижает безопасность труда.

На основании экспериментальных исследований, в настоящее время разработана технология и определены параметры различных способов ослабления труднообрушаемых кровель [6].

К труднообрушаемым относятся кровли, осадки которых в призабойном пространстве, происходят при разрушении по линии забоя зависающих на значительных площадях прочных слоев пород основной кровли. Труднообрушаемые кровли характеризуются строением, отношением мощности непосредственной кровли к мощности пласта, мощностью и шагом обрушения основной кровли.

В периоды между осадками состояние кровли и угольного пласта характеризуется повышенными напряжениями, связанного с процессом зависания труднообрушаемых пород. Над призабойным пространством имеют место значительные горизонтальные растягивающие напряжения.

Для более детального изучения вопроса управления горным давлением в очистном забое на крутых пластах с труднообрушаемыми кровлями был проведен анализ горно-геологических и горнотехнических условий при отработке пласта k_8 "Каменка" на шах. "Торецкая", а также проведены лабораторные исследования физико-механических свойств кровли на установке БУ-39 конструкции ВНИМИ.

Начиная с горизонта 810 м, отработка пласта k_8 "Каменка" затруднена систематическими завалами очистного забоя. По данным технической и геологической служб шахты, завалы происходили, как правило, непосредственно у груди забоя, причем вывалы в кровле достигают 2 - 3 м, по высоте, и по падению – 10 - 15 м. Какой либо закономерности в расположении вывалов по длине лавы и по размерам пролета основной кровли не установлено. По данным геологической службы непосредственно над пластом залегает глинистый сланец слоистый, общей мощностью 10 - 11 м. В кровле выявлена система трещин, ориентированная по линии падения пласта и наклоненных к плоскости пласта под углом 75 - 80°. Характер этой трещиноватости определен как тек-

тонический. Выше глинистого сланца залегает мощный слой прочного песчаника.

Для детального изучения физико-механических свойств пород кровли пласта k_8 “Каменка” были выполнены лабораторные исследования керна, взятого из пород кровли откаточного штрека по пласту на горизонте 810 м, на трехосном прессе конструкции ИФГП и с применением упрощенных методик [3]. При этом определялись предел прочности на растяжение и сжатие, как по напластованию, так и по нормали к напластованию, а также модуль упругости.

Для проведения экспериментальных исследований были пробурены две скважины с откаточного штрека на всю мощность глинистых сланцев, залегающих в кровле, вплоть до песчаников. Место заложения первой скважины от квершлага, в выработанном пространстве на 110 м, вторая скважина пробурена на 265 м в неотработанном массиве. Исследование керна, извлеченного из скважины, позволило установить следующее.

Скважина на 110 м. Кровля представлена глинистым сланцем с примесями слюды и песчаного материала, сланец слоистый, слои от 1 до 50 см. Наиболее мелкослоистый глинистый сланец на 1,5 - 2,2 м и 5,3 - 6,0 м, где эти слои составляют 1 - 5 см. Вместе с тем, уже на расстоянии 0,3 м находится слой мощностью 15 см. Далее слои такой же или большей мощности находятся в диапазоне 1,1 - 1,25 м, 2,3 - 2,5 м, 3,6 - 4,3 м. По данным кернового бурения установлены места пересечения скважиной тектонических (кливажных) трещин на расстоянии 0,5 м, 1,43 м, 2,95 м, 7,80 м по длине скважины. Кливажные трещины – это расщепление горных пород на тонкие пластины, наблюдаемые в местах распространения линейных складок слоев горного массива, которые возникают вследствие тектонических движений.

На рис. 1 представлены данные по исследованиям пород кровли на прочность по напластованию (рис. 1а) и по нормали к напластованию (рис. 1б). Как следует из графиков, кровля сложена достаточно прочными породами, причем прочные слои чередуются с менее прочными. С удалением от пласта прочность пород возрастает. Это связано с увеличением песчаного материала в сланце.

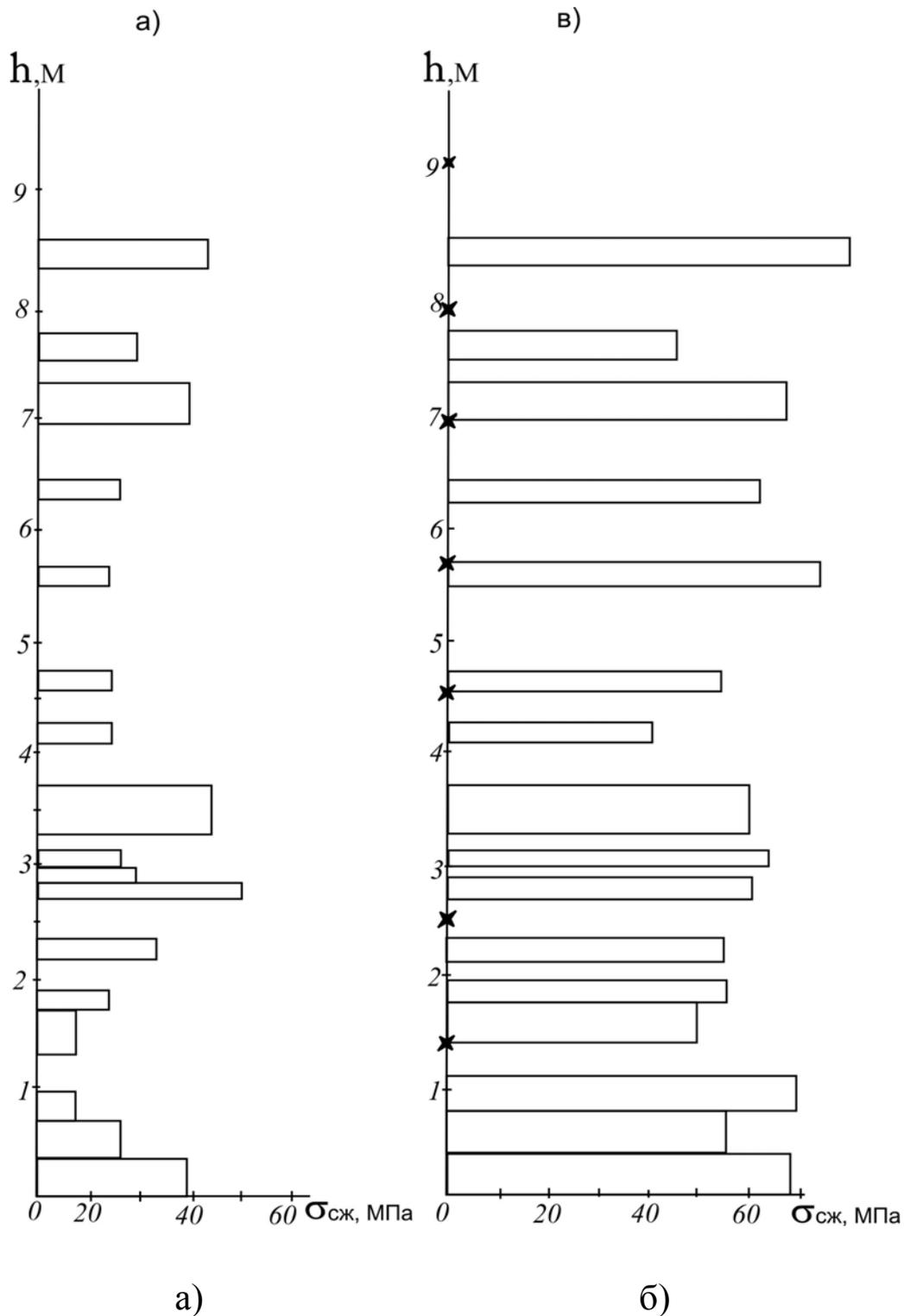


Рис. 1. Прочностные характеристики пород кровли по скважине № 2 (265 м)

Прочность по слоям также непостоянна и колеблется в довольно широком диапазоне от 8 до 40 МПа. Можно выделить

участки с наиболее прочными слоями: на участке с 3 по 4 м и начиная с 7-го метра. При этом поверхность скола также неровная. Звездочками на графиках отмечены участки кливажных трещин.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что кровля представлена породами прочностью 55,0 - 80,0 МПа по нормали к напластованию и до 44,6 МПа по плоскости напластования. Следует отметить, что прочность породы в мощных слоях мало отличается по нормали и по напластованию, что говорит об однородности ее свойств. Скол по напластованию неровный, четкой слоистости не наблюдается [4].

Скважина на 265 м. Кровля пласта представлена слоями глинистого и песчано-глинистого сланца мощностью от 1 до 45 – 50 см, причем песчано-глинистые сланцы залегают ближе к слою песчаника, находящегося выше сланцев. При изучении керна установлено, что породы кровли на всем протяжении подготовительного участка разбиты трещинами на блоки длиной 1 – 1,5 м по простиранию. На рис. 2 представлена схема деформирования пород кровли при наличии кливажных трещин. Связь по трещинам обычно отсутствует, а при отборе керна происходит отделение пород кровли.

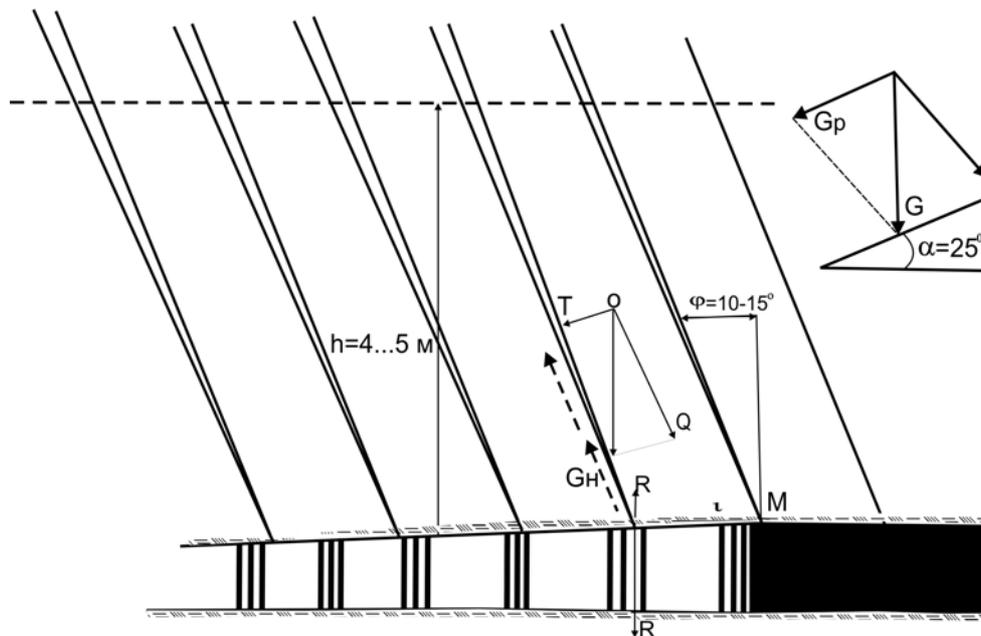


Рис. 2. Схема деформирования пород кровли при наличии кливажных трещин (265 м)

Поверхность контактов неровная, шероховатая. В ряде случаев отмечено заполнение трещин кальцитом. При этом образуется прочный контакт, не разрушающийся при бурении и извлечении керна [5].

Как известно, устойчивость пород кровли в первую очередь определяется прочностью пород кровли и мощностью слагающих ее слоев [6]. Поэтому, анализируя устойчивость слоев кровли пласта “Каменка” следует учитывать ее блочное строение, определяющееся тектоническим кливажем, а так же, как было уже отмечено, мощностью каждого слоя и его прочностью. Как известно из данных геологического прогноза, кливажные трещины располагаются практически параллельно линии забоя, а по ориентации к плоскости пласта, под углом $75 - 80^\circ$.

В соответствии с рекомендациями [9], в целях предотвращения завалов, лава разделяется на предельные пролеты угольными целиками. Всего формируется 4 предельных пролета длиной по падению 12 – 14 м. Под вентиляционным штреком выкладывается бутовая полоса. Призабойное крепление состоит из деревянных стоек под распил, установленных по 2 через 1 м по падению и простиранию. В качестве специальной крепи применяется кусты из 16 – 18 стоек, установленных по схеме 3×3 м. Направление отработки пласта выбрано таким образом, что линии кливажа направлены под углом $10 - 15^\circ$ на завал.

В районе скважины в кровле пласта залегают прочные слои глинистого сланца мощностью до 0,4 – 0,55 м, причем предел прочности по нормали к напластованию достигает 60 – 70 МПа. При наличии таких достаточно прочных и относительно изотропных по физико-механическим свойствам боковых пород в кровле механизм ее разрушения может качественно отличаться от обычного. Вместо послойного прогиба и разрушения, кровля деформируется одновременно достаточно мощными слоями, поэтому разрушение ее происходит от скола или среза на короткие блоки по простиранию. Это хорошо согласуется с реальной ситуацией с обрушением кровли в лаве. Причем обрушение может происходить непосредственно у кромки угольного пласта. Специфика характера обрушения пород кровли состоит также в том, что наличие дополнительных плоскостей ослабления - кливаж

повышають вероґатність обрушення. Схема деформування пород кровлі для даного варіанта представлена на рис. 3.

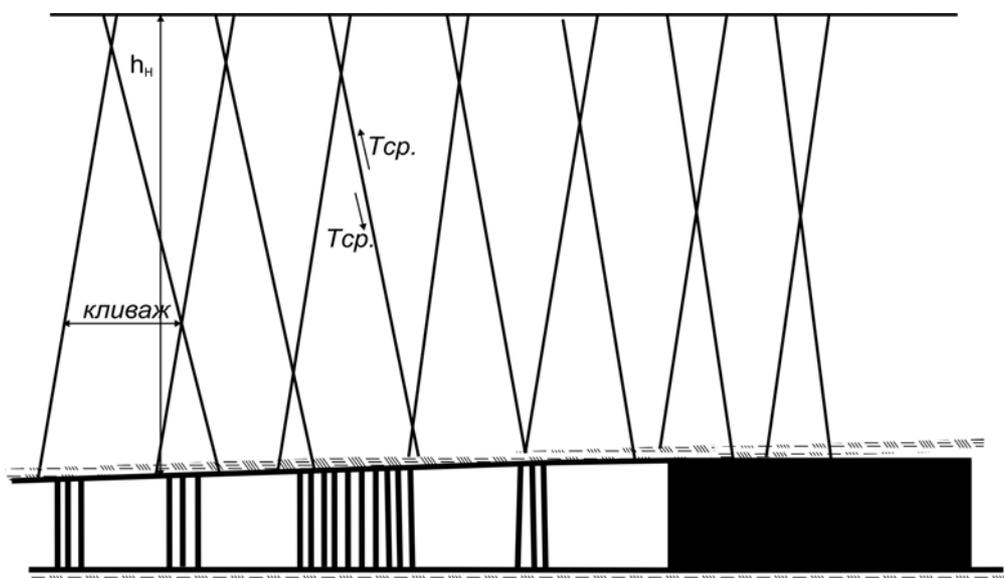


Рис. 3. Схема деформування пород кровлі (в районі скважини № 1) на 110 м, при руйнуванні від скола

Виповнимо аналіз діючого паспорту кріплення лави з урахуванням отриманих нових даних про фізико-механічні та геологічні властивості пород кровлі. При виемці пласта породи кровлі підтримуються тільки кріпкою від обрушення в виробане простірство. При даній геології [5] слід очікувати утворення призм в кровлі, оконтурених по бокам тріщинами кливажа, а по висоті – найбільш слабкими породами. З урахуванням кута падіння пласта (30° в середньому) навантаження на 1 м^2 складе:

$$G_N = \gamma h \cos \alpha ; \quad (1)$$

де γ – удільна густина пород кровлі, $\gamma=25 \text{ кН/м}^2$;
 h – висота пород кровлі.

За даними геології та нашого аналізу, h може складати до 5 м.

Оцінимо сили, діючі в призабойному простірстві з боку кровлі. Якщо розкласти силу G_N за напрямками, паралельним і перпендикулярним лінії кливажа, отримаємо сили T і Q (див. рис. 2). Сила T дорівнює:

$$T = G_N \sin \varphi \quad (2)$$

Сила Q равна:

$$Q = G_N \cos \varphi \quad (3)$$

Сила T способствует раздвиганию блоков и увеличивают смещение боковых пород по простиранию, которое по данным шахтных исследований [7] составляет до 20 – 25 мм на 1 м подвигания забоя. Под действием силы T возникает также сила трения, препятствующая перемещению блоков, которую можно оценить как

$$F = fT.Q = G_N \cos \varphi \quad (4)$$

где f – коэффициент трения по трещине кливажа ($f = 0,7$).

Кроме того, под действием силы веса и при опирании блока пород на кромку угольного забоя, образуется момент, равный:

$$M = G_N l \quad (5)$$

где l – плечо силы, которую можно определить исходя из угла кливажа 15° равной 1,7 м.

Составим уравнение равновесия сил, при котором реакция призабойной крепи препятствует обрушению кровли:

$$Q = R + fT \quad (6)$$

где R – суммарная реакция крепи.

Это выражение характеризует усилия без разделения блоков пород кровли. Подставим значение каждой из величин и определим необходимую реакцию крепи. Как видно из схемы, такая реакция крепи должна реализоваться непосредственно у очистного забоя [10], где еще не установлена специальная крепь. Деревянные стойки развивают реакцию 50 кН при деформациях до 10 %, что реализуется на удалении 4 – 5 м от забоя при нормальном характере смещения кровли. В момент установки реальный распор стойки не превышает 10 кН. С учетом паспорта крепления суммарная реакция крепи будет 30 кН, т.е. меньше 50 кН.

$$3 \times 10(\text{кН}) = 30(\text{кН}) < 50(\text{кН})$$

Это свидетельствует о том, что в случае отрыва пород кровли на высоту до 5 м, крепление недостаточно, и оно не будет предупреждать завалы лавы. В случае же отделения блоков [7] и создания момента сил, завал может происходить и при меньшем объеме пород кровли (см. рис. 3).

Как было установлено [6], на крутом падении породы кровли и почвы смещаются относительно друг друга за добычной цикл на угол до 3°. Поэтому обрушение кровли приводит к дополнительным смещениям и призабойная крепь опрокидывается без разрушения. При определении величины пролета блока кровли по падению, способного сохранять устойчивость, можно воспользоваться эмпирической формулой из [7]:

$$L = 1,3m_n / m + 1,2f - 4,8 \quad (7)$$

где m_n – мощность пород кровли;

m – мощность угольного пласта;

f – крепость пород кровли по Протодьяконову.

$$L = 1,3 \times 5,0 / 1,0 + 1,2 \times 6 - 4,8 \cong 9 \text{ м}$$

А с учетом несимметричного характера нагружения и плоскостей ослабления от трещин кливажа, шаг обрушения может быть и меньше.

Для сравнения проанализируем схему, получающуюся при движении забоя лавы в противоположном направлении. Паспорт крепления очистного забоя сохранен тот же, что и на рис. 3.

В данном случае сила T направлена в противоположную сторону и способствует смыканию блоков. Уравнение устойчивости блока кровли записывается следующим выражением:

$$R + 2fT = Q \quad (8)$$

Поскольку блоки кровли смыкаются, силы трения существуют по обоим контактам:

$$R = Q - 2fT = \gamma h \cos \alpha (\cos \varphi - 2f \sin \varphi) \quad (9)$$

Таким образом, нагрузка на призабойную крепь по сравнению со схемой на рис. 3 уменьшилась на 30 %. Вместе с тем, в критическом случае, который наступает при отслоении пород

кровли мощностью до 5 м, призабойная крепь не сможет предотвратить обрушение.

Из приведенного следует вывод, что реакция принятой в паспорте призабойной крепи недостаточна для предотвращения обрушения кровли. Разделение лавы на предельные пролеты также может оказаться малоэффективным, т.к. шаг обрушения кровли составляет менее 9 м.

Обрушение пород кровли происходит вследствие среза блоков по плоскостям ослабления, которые образуются при расслоении кливажных трещин. Специальные крепи (кусты, костры, органические ряды) в этом случае не могут эффективно управлять процессом обрушения, поскольку они возводятся позже, когда призмы обрушения уже сформировались, а сопротивление их еще недостаточное. Наиболее жесткими, т.е. набирающими более быстро нагрузку являются тумбы ОКУ и опоры из плит железобетона с податливыми прокладками. В этом случае уменьшаются деформации боковых пород по всем направлениям, что позволит уменьшить нагрузки на призабойную крепь. Если же применять тумбы ОКУ с установкой непосредственно у груди забоя, то создаются более благоприятные условия для управления горным давлением [10].

Выполненный анализ горногеологических и горно-технических условий отработки пласта на гор. 810 м, а также проведенные лабораторные экспериментальные исследования физико-механических свойств кровли, позволили установить, что залегающие в кровле породы склонны обрушатся короткими блоками (призмами), образующимися в результате среза или по плоскости ослабления, образованными трещинами в кровле. Принятый паспорт управления горным давлением не обеспечивает эффективной и безопасной отработки лавы. Предложены следующие мероприятия по управлению горным давлением в конкретных горно-геологических условиях [8].

ВЫВОДЫ

1. Направление отработки пласта на данном участке целесообразно изменить на обратное. По приведенным выше расче-

там это позволит уменьшить давление пород кровли на призабойную крепь ориентировочно на 30 – 40 %.

2. Достаточно эффективным средством управления горным давлением в рассматриваемых горно-геологических условиях по опыту работы других шахт являются крепь "Спутник" (2СПТМ) и стойки посадочные ОКУ разных модификаций.

3. Разделение лавы на предельные пролеты не эффективно, а оставление целиков как показало, сдерживает процесс подвигания очистного забоя.

4. Возможно сохранение ориентации забоя по падению, поскольку эффективный в условиях кливажа кровли наклон забоя на 20 – 25° может привести к трудностям при транспортировке угля в забое, т.к. угол падения пласта (27 – 32°) критический и применение даже эмалированных рештаков может быть не эффективным [7].

СПИСОК ССЫЛОК

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. - М.: Недра, 1980. – 320 с.
2. Ардашев К.А. Методы и приборы исследования проявлений горного давления [Текст] / К.А.Ардашев, В.И. Ахматов, Г.Н. Катков. – М.: Недра, 1981. – 128 с.
3. Алексеев А. Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. [Текст] / А. Д. Алексеев, Ревва В. Н., Рязанцев Н. А. - К: Наукова думка, 1989. - 168 с.
4. Зубов В. П. Особенности управления горным давлением в лавах на больших глубинах разработки [Текст] / В. П. Зубов - Л.: ЛГИ, 1990. – 103 с.
5. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. - М.: Недра, 1995. - 395 с.
6. Мэркс И. Горная механика [Текст] / И. Мэркс, Г. Юнгниц. Углетехиздат, 1957. - 756 с.
7. Питаленко Е. И. Геомеханическое обоснование кинематических параметров механизированных крепей для крутых и крутонаклонных пластов Донбасса [Текст]: дис... канд. техн. наук / Е. И. Питаленко. - Л.: 1984. – 180 с.

8. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах с углом падения до 35°. [Текст]. - Л.: ВНИМИ, 1982. - 136 с.
9. Управление горным давлением при разработке угольных пластов. Справочное пособие. [Текст]. Донецк. 1990. - 303 с.
10. Совершенствование средств и способов поддержания подготовительных выработок на шахтах Центрального района Донбасса [Текст]: монограф. /А. П. Калфакчиян, В. Г. Александров, Воробьев Е.А., Питаленко Е. И / Днепропетровск: "Січ", 1994. - 207 с.