

УДК 622.831, 622.23.02

ДЕФОРМАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ КРУТОГО ПАДЕНИЯ

Питаленко Е. И., Васютина В. В., Голубев Ф. М.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Встановлено особливості протікання деформаційних процесів у гірському масиві при затопленні виробленого простору після відпрацювання світ зближених вугільних пластів на крутому падінні.

Determined are peculiarities related to deformation processes in rock mass when flooding mine goaf with water after contiguous heavy dip coal bed series have been extracted.

По программе реструктуризации угольной промышленности Украины в Донбасском регионе было закрыто ряд горнодобывающих предприятий, эксплуатация которых в современных условиях является нерентабельной. Однако необходимые данные по оценке возникающих при этом геомеханических процессов в горном массиве и их негативном воздействии на земную поверхность отсутствуют. В результате чего возник целый ряд ранее неисследованных научно-технических и социальных проблем.

Как показал опыт закрытия шахт в Центральном районе Донбасса, наиболее осложнено эти процессы протекают при крутонаклонном и крутом залегании, когда происходит наложение зон влияния от одновременно отрабатываемых угольных пластов на разных глубинах. Оказывает влияние на деформации горного массива и тектоническая нарушенность [1, 2].

Для предотвращения возможного возникновения аварийных ситуаций, при активизации геомеханических процессов в массивах и на поверхности с затоплением выработанного пространства,

необходима разработка надежных способов их прогнозирования, что позволит снизить риск возникновения техногенных ситуаций, связанных с процессами провалообразования и подтопления на территориях уже законсервированных объектов и действующих горнодобывающих предприятиях, рядом расположенных.

Процесс сдвижения земной поверхности в Центральном районе Донбасса существенным образом отличается от процессов, происходящих в других геолого-промышленных районах. Эти отличия проявляются не только по сравнению с пологим залеганием, но и с деформированием при разработке крутых пластов в других районах. Основное принципиальное отличие состоит в образовании на земной поверхности ступенчатообразной мульды с сосредоточенными деформациями в виде уступов [2], возникновение которых сопровождается значительными горизонтальными и вертикальными деформациями. Такое проявление сдвижения на земной поверхности объясняется двумя основными причинами:

- большим количеством совместно отрабатываемых пластов;
- малой мощностью четвертичных отложений (от 0 до 4 м), что не дает возможности сглаживать сдвижения, происходящие в коренных породах карбона [3].

Поэтому при исследовании активизации геомеханических процессов на территории горных отводов законсервированных шахт Центрального района Донбасса, необходимо учитывать особые горно-геологические и горнотехнические условия, а также специфику деформирования земной поверхности.

Существенное влияние на деформации земной поверхности при разработке свит пластов оказывает взаимное положение горных выработок в разных пластах, порядок и сроки их отработки. Так, при расположении границ очистных выработок в сближенных пластах примерно в одной вертикальной плоскости происходит одновременное наложение деформаций, сумма которых в несколько раз превышает значения, возникающие от влияния одного из пластов [4].

В зоне расположения очистных выработок образуется большое число трещин расслоения, а над границей выработанного пространства пустоты, вызванные зависанием пород кровли

над целиком [5]. Это объясняется тем, что горный массив сложен вмещающими породами различной прочности и мощности, которые не могут одинаково изгибаться в подработанных слоях [6], что в дальнейшем является причиной активизации процесса сдвижения при затоплении закрывающихся шахт.

При исследовании особенностей деформационных процессов при затоплении выработанного пространства, необходимо учесть, изменения в подработанной толще массива, произошедшие после технологического процесса. Это техногенные трещины, обусловленные воздействием горного давления, образовавшиеся при отработке угольных пластов.

Необходимо учитывать параметры изменения физико-механических свойств горных пород вследствие намочения массива, которые зависят от их степени метаморфизма и нарушенности [1]. С повышением метаморфизма породы становятся более прочными, что в меньшей степени влияет на процесс деформации и сдвижения боковых пород. Поэтому с повышением степени метаморфизма деформации поверхности проявляются в менее неоднородной форме, т.е. без образования ярко выраженных уступов, которые наиболее встречаются в районе ГП «Дзержинскуголь» и «Артемуголь». Так как на крутом падении часто используется механизированная система отработки, рассмотрим особенности проявлений геомеханических процессов в лавах крутого падения, где применялась щитовая выемка сближенных пластов при нисходящем порядке и как в дальнейшем это влияет на активизацию сдвижений при затоплении выработанного пространства.

Механизм деформирования кровли при различных способах управления горным давлением на крутых и крутонаклонных угольных пластах отличается от пологого падения. Наибольшие отличия выявлены при отработке крутых угольных пластов щитовыми агрегатами, когда угольный пласт обрабатывается широкими полосами (шириной 60-120 м) по падению, т.е. выемка начинается с вентиляционного горизонта и забой перемещается вниз до откаточного [7]. При отработке пласта щитовым агрегатом максимальные деформации пород реализуются под вентиляционным горизонтом. В толще подработанных пород в направле-

нии вверх от выработанного пространства условно можно выделить три зоны, характеризующиеся различной степенью нарушенности горного массива:

- зона обрушения пород кровли в очистном забое;
- зона прогиба с нарушением слоев в виде трещин;
- зона плавного прогиба без нарушения сплошности слоев.

В процессе разрушения породы непосредственной кровли образуют своеобразную характерную зону, называемую зоной интенсивного дробления или разрыхления. В дальнейшем в этой зоне происходит уплотнение, а в ряде случаев слеживание пород. В этой зоне обрушение пород непосредственной кровли не вполне беспорядочно. Основная особенность разрыхления заключается в образовании «гребней» по простиранию и по падению вследствие налегания блоков обрушившихся слоев друг на друга, а не беспорядочность процесса.

При разработке пласта свиты в массиве окружающего горные породы, происходит нарушение природного равновесия, вокруг очистных выработок этого пласта, а также сдвижение и деформирование горных пород, изменение их напряженного состояния и сплошности [8]. При подработке двух сближенных пластов в толще горных пород будут образовываться зоны повышенного напряжения с их взаимным наложением, что может повлечь за собой дополнительные деформации и образования больших зон расслоения и трещинообразования.

Непосредственно над выработанным пространством находится зона интенсивного разрыхления, которую ориентировочно можно определить по формуле [4]:

$$h_p = \frac{(m - h_c)}{(k_{cp} - 1)}, \quad (1)$$

где m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта;

h_c – предел свободного опускания основной кровли;

k_{cp} – средний коэффициент разрыхления.

Приведенная формула в основном справедлива для пластов всех углов падения, хотя при отработке крутых пластов имеются некоторые особенности.

Смещение пород кровли в вышележащей части по высоте обрабатываемой полосы (столба) в 1,5 раз ниже из-за присутствия закладки. Нижние слои непосредственной кровли смещаются вниз за щитовым агрегатом на 20-30 м, что соответствует длине породной подушки, а в нижней части кровля почти не обрушается.

Оседание горного массива при щитовой выемке имеет ярко выраженный асимметричный вид – максимум оседаний реализуется над местом пересечения пласта с горизонтом. При намокании массива кривая оседаний также имеет асимметричный характер, а показатели будут увеличиваться на величину осадки примерно 15 – 30 %. В ходе деформационных процессов в массиве возможно разрушение межэтажных целиков, что приводит к перепуску боковых пород.

Следует учесть тот факт, что по данным шахтных исследований обрушенные породы в выработанном пространстве имеют различную крупность кусков в зависимости от расстояния до вентиляционного штрека.

В нижней части отработанной полосы обрушенные породы имеют крупность кусков размером $(0,1-0,2) \times (0,25-0,6) \times (0,3-0,7)$ м. Это объясняется тем, что эти породы перемещались, как правило, с верхней части полосы вслед за щитовым агрегатом, образуя своеобразную породную подушку. Расположенная выше по столбу обрушенная порода представляет другие слои, которые обрушались уже кусками $(0,1-0,8) \times (0,25-1,5) \times (0,9-2,5)$ м и имеют больший коэффициент разрыхления. В верхней части столба, в районе бывшей монтажной ниши образуются своеобразные полосы на высоту до 6 мощностей ($6m$) вынутаго пласта и длиной до 20 м по падению, где обрушенная порода практически не заполняет выработанное пространство, т.к. вышележащие слои основной кровли образуют устойчивые пролеты или блочно-шарнирные системы [9]. Как показывают замеры, площадь обнажений пород может достигать $800-1700 \text{ м}^2$ [1].

Обрушивающиеся породы, разрыхляясь, частично подбучивают образовавшуюся полость. Оставшиеся полости создают условия для дальнейшего развития воронки обрушения, которая в соответствующих условиях может достичь поверхности. Разрыхляемость характеризует свойство горных пород занимать в раз-

рыхленном состоянии больший объем по сравнению с тем, который она занимала в массиве. Показателем его служит коэффициент разрыхления, представляющий собой отношение объема породы после её разрыхления при обрушении к ее объему в массиве. В таблице 1 приведены данные о коэффициенте разрыхления обрушенных пород в зависимости от литологического состава и крупности кусков [1].

Таблица 1
Данные разрыхления обрушенных пород

Мощность пласта, м	Коэффициент разрыхления		
	глинистые сланцы	песчано-глинистые сланцы	песчаники
< 1,0 м	1,15-1,20	1,20-1,25	1,40-1,50
1,0-2,0 м	1,25-1,30	1,30-1,35	1,50-1,80

При изучении механизма деформационных процессов, происходящих в горном массиве, экспериментальными и лабораторными исследованиями установлено, что выемка угольных пластов приводит к деформации и обрушению пород, залегающих выше пласта, а при развитии горных работ на большой площади деформации пород (сдвигения) могут распространяться вплоть до земной поверхности. Сдвигение вызывает в породах деформации сжатия, растяжения и сдвига. При этом породы деформируются (упруго, упруго-вязко, упруго-вязко-пластически) и разрушаются [10-12].

При «мокрой» консервации прекращается откачка шахтной воды, и она заполняет выработанное пространство, водоприток остается практически прежним, очистные и выработки различного назначения постепенно заполняются водой, происходят следующие процессы:

- намокание почвы выработок. Из-за того, что обычно в почве залегают глинистые сланцы, склонные к быстрому намоканию и потере прочности, оставшееся в лавах крепление - деревянные стойки, органические ряды и костры (что наиболее характерно для шахт с крутым залеганием угольных пластов, где применяется

так называемый способ обрушения кровли на костры) потеряют связь с почвой и обрушатся вниз вместе с зависшими на них кусками породы;

- перепуск пород вниз по лаве, а при этом возобновятся процессы деформирования и обрушения кровли.

Геомеханические процессы в очистных забоях при обрушении слоев кровли при выемке угля связаны, в первую очередь, с особенностями строения непосредственной кровли, а именно мощности и прочностных свойств слагающих её пород. Наличие в кровле глинистого сланца при заполнении выработанного пространства водой будут активизировать процессы деформации боковых пород. Следовательно, необходимо учитывать вид кровли по литологическому строению и типу обрушаемости.

При отработке нижележащего пласта в свите в его кровле происходят процессы деформирования разрушения и обрушение слагающих её пород, в результате чего в этот процесс вновь вовлекаются породы уже отработанного выше пласта. Если процесс деформирования к этому моменту уже закончен, то он снова возобновляется, а если этот процесс находится в стадии затухания, то происходит его активизация и в него вовлекаются новые слои пород кровли. На рисунке 1 представлена схема развития процесса обрушения и перемещения пород кровли при намокании почвы в сближенных крутых пластах. Вследствие дополнительного уплотнения обрушенных пород свод обрушения в верхней части лавы увеличится на высоту до $6m$, а по длине лавы он распространится до середины лавы. На рис. видно, что почва подработанного и кровля надработанного пласта нарушена многочисленными трещинами, образовавшихся после технологического процесса отработки пластов:

- при оставлении целиков под и над вентиляционными штреками произойдет их частичное разрушение. Возможен также и перепуск пород с вышележащего горизонта, что происходит до поступления воды в вышележащие горизонты и позволяет возобновить процесс деформации пород кровли над выработанным пространством. Таким образом, будет затронута площадь подработки большая, чем площадь затопления;

- на верхних горизонтах, как правило, расположены старые горные выработки. Отработка пластов велась в основном по камерно – столбовой системе в нисходящем порядке, при которой выработанное пространство крепилось забойщицкой деревянной и органной крепью, оставляемой в выработанном пространстве.

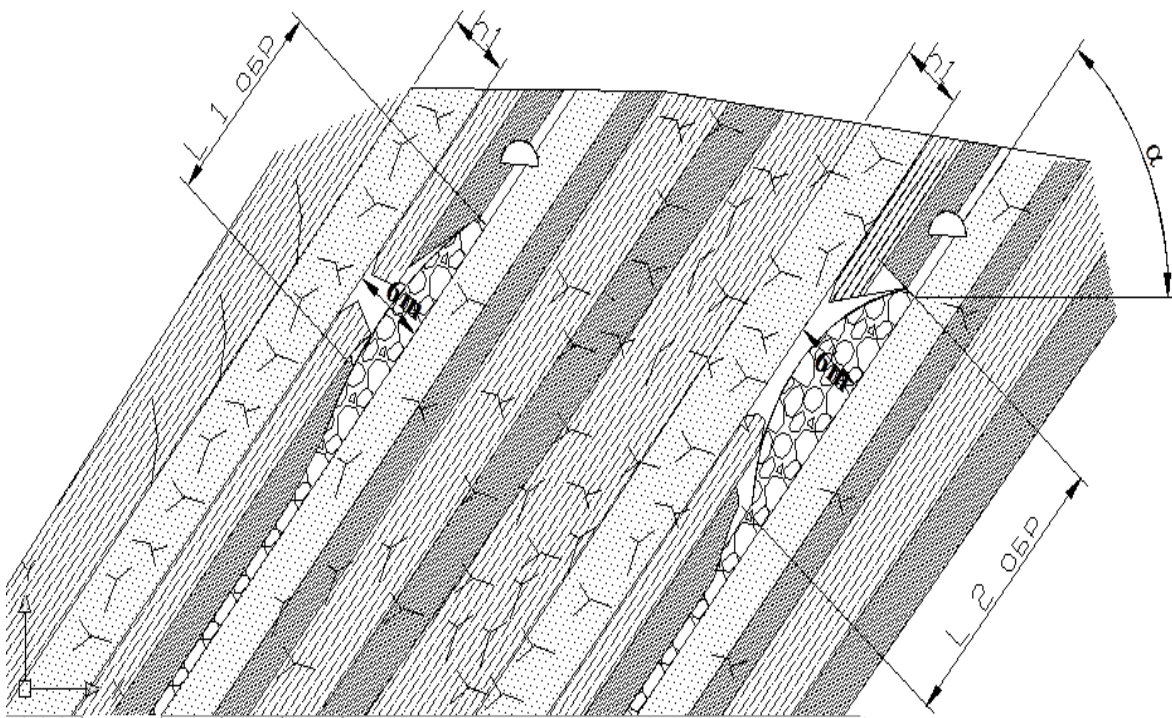


Рис. 1. Схема разрушения пород основной и непосредственной кровли при разработке крутых пластов после затопления

Следовательно, полного обрушения пород кровли в камерах, особенно учитывая глубину горных работ, как показывает опыт бурения скважин в горные выработки, ожидать, не следует. Вместе с тем, при заполнении водой этих выработок, горные породы будут намокать и происходить их обрушение в выработанное пространство, что может повлечь за собой развитие этого процесса до поверхности с возможным образованием деформационных воронок.

В подавляющем большинстве случаев нарушение сплошности пород и высота зоны первичного обрушения сравнительно невелика, и составляет от 1,5 до 3 кратной мощности пласта.

Вышележащие слои прогибаются плавно или с образованием разломов и блоков, шарнирно связанных друг с другом. Специально проведенными исследованиями на шахтах Донбасса, установлено, что средняя кратность высоты обрушения к мощности пласта в различных горно-геологических условиях составляет 1,9, а в некоторых случаях не превышает 1,0 [7].

Если рассматривать аргиллиты, то при намокании они набухают, что способствует их пластифицированию. Как показывают лабораторные исследования образцов из аргиллита, при влажности около 6-8 %, в их структуре еще сохраняется целостность, но прочность уменьшается в 3-4 раза по сравнению с не увлажненными образцами [10, 12]. Но при достижении более 14 % дополнительной влаги образцы разрушаются. Это свидетельствует о том, что в выработанном пространстве обрушившиеся породы кровли и почвы, а это, к примеру, глинистый сланец, будут быстро намокать и разрушаться. Под действием сил тяжести эти породы будут перемещаться вниз и уплотняться. Можно оценить степень уплотнения мокрых обрушенных пород исходя из компрессионных свойств сухой и мокрой закладки, применяемой на шахтах крутого и пологого падения. Коэффициент заполнения выработанного пространства при гидравлической закладке из дробленой породы составляет 0,70-0,85, при самотечной, также из рядовой породы он составляет уже 0,50-0,65, т.е. в 1,2-1,7 раза меньше [5]. Следовательно, и при намокании горного массива возможно уплотнение обрушенных пород в выработанном пространстве на 20-70 % или в среднем на 30 % с учетом перепуска пород по горизонту.

Известно, что устойчивый пролет пород кровли зависит от их прочности, мощности и геометрических размеров обнажения.

Шаг обрушения пород непосредственной кровли можно определить по формуле [13]:

$$L = \frac{1,3m_{н.к}}{m + 1,2f - 4,8}, \quad (2)$$

Шаг обрушения пород основной кровли определяется по формуле [13]:

$$L = \frac{1,7m_{н.к.}}{m + 0,6f_{о.к.} + 0,1m_{о.к.} + 7,5}, \quad (3)$$

где $m_{н.к.}$ – мощность пород непосредственной кровли;
 $f_{о.к.}$ – крепость пород по М. М. Протодьяконову;
 $m_{о.к.}$ – мощность пород основной кровли.

Как показали расчеты, предельный пролет кровли зависит от прочности пород почти линейно и его можно рассчитать для разных значений прочности при прочих равных условиях.

Рассмотрим случай, когда в кровле угольного пласта залегает слой глинистого сланца мощностью до 4-6м, где (m – мощность пласта). В этих условиях будет обеспечено достаточно полное подбучивание основной кровли, следовательно, породы не будут обрушаться беспорядочно.

Примем для расчетов:

$$m = 2 \text{ м}; m_{н.к.} = 6 \text{ м};$$

$$f_{о.к.} = 8; m_{о.к.} = 5 \text{ м}.$$

Прогнозирование устойчивого пролета основной кровли можно выполнить на основе разработанной классификации по устойчивости, в основу которой положены критериальные признаки прочности пород, литологичности и структурного состава. Такой поход к критерию устойчивости основной кровли справедлив для прогноза при намокании массива, если учитывать изменение физико-механических свойств, критерия дилатационного изменения подработанной толщи пород.

На рисунке 2 приведен график изменений предельного пролета кровли в зависимости от прочности составляющих пород построенный по результатам вычислений.

Как следует из приведенных данных, при уменьшении прочности пород кровли в 2 раза ее пролет уменьшается более чем в 3 раза.

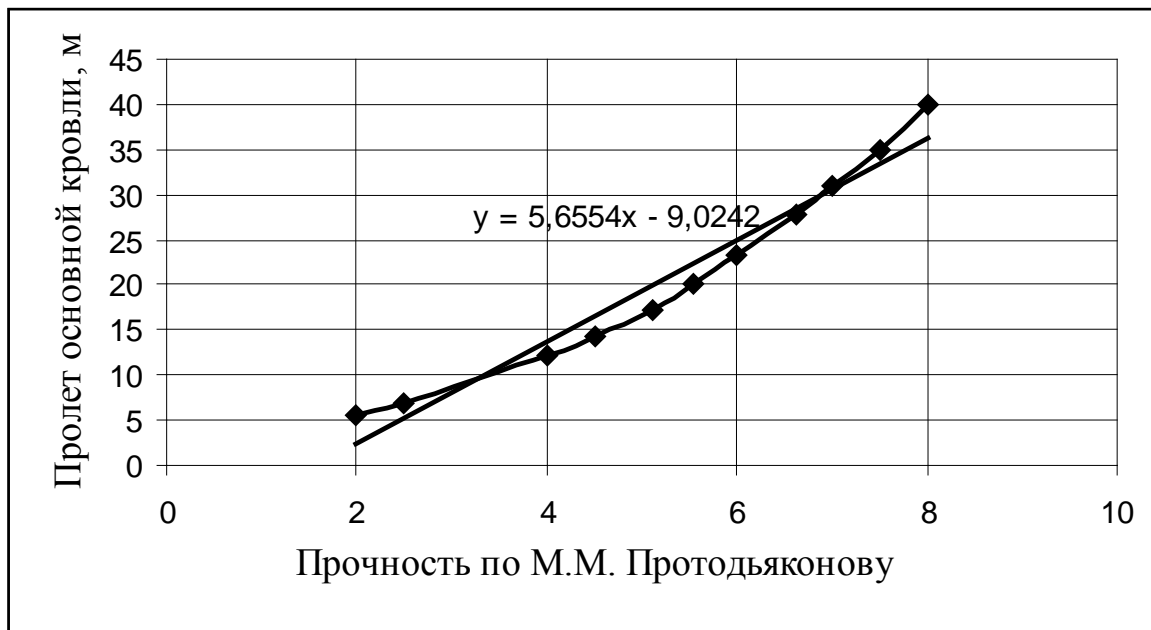


Рис. 2. Изменение предельного пролета кровли в зависимости от прочности пород кровли

Учитывая литологические особенности строения кровли угольных пластов, где непосредственно над пластом в основном залегает глинистый или песчано–глинистый сланец, а основная кровля это песчаник, то в нижней части отработанного столба в слоях непосредственной кровли коэффициент разрыхления будет $K_p=1,2 -1,25$, в остальной части выработанного пространства породы более разрыхлены в зависимости от мощности слагающих её слоев

Максимально возможная величина уплотнения составит:

$$h = H(K_p - K_n), \quad (4)$$

где H – мощность слоев глинистого сланца;

K_p – коэффициент разрыхления;

K_n – коэффициент увеличения объема за счет намокания ($K_n=1,01$).

При $H = 6m$ максимальная величина уплотнения может составить:

$$h = 6(1,15 - 1,01)m = 0,84m.$$

Определение возможной величины уплотнения обрушенных пород позволяет судить о дополнительных деформациях за счет их намокания и уплотнения. Следовательно этот процесс может вызвать активизацию сдвижения за счет уменьшения высоты обрушенных пород.

По данным выполненных в результате исследований расчетов можно сделать такие **выводы**.

1. При заполнении водой выработанного пространства будет происходить намокание пород кровли, последующая потеря её устойчивости и возобновление процесса обрушения и деформации нависающего горного массива, что может вызвать дополнительное оседание земной поверхности.

2. Установлено, что активизация деформационных процессов в горном массиве при его намокании наиболее характерна с применением щитовой выемки и способе управления кровлей полным обрушением, когда породы, разрыхляясь, частично подбучивают образовавшуюся полость, а в полости создают условия для дальнейшего развития воронки обрушения, которая в соответствующих условиях может достичь поверхности.

3. Показатель предельного пролета основной кровли при работе лавы, в данном случае при щитовой выемке, можно использовать как один из критериев устойчивости при обнажении основной кровли, что в дальнейшем позволяет прогнозировать обрушаемость пород при их увлажнении.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Янукович В. Ф. Решение геоэкологических и социальных проблем при эксплуатации и закрытии угольных шахт [Текст] : / В. Ф. Янукович, Н. Я. Азаров, А. Д. Алексеев, А. В. Анциферов, Е. И. Питаленко. — Донецк. Алан, 2002. — 480 с.
2. Гавриленко Ю. Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины [Текст] : / Ю. Н. Гавриленко, В. Н. Ермаков, Ю. Ф. Кренида, О. А. Улицкий, В. А. Дрибан. — Донецк. 2004. — 630 с.

3. Питаленко Е. И., Геомеханические процессы отработки крутых пластов: новые исследования и решения [Текст] : / Е. И. Питаленко, С. Б. Кулибаба, Ю. Н. Гавриленко, М. Г. Тиркель, Ю. А. Пивень. — Донецк. 2007. — 380 с.
4. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] : / А. А. Борисов. М. : «Недра». — 1980. — 258 с.
5. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород. [Текст] : / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. М. : «Недра». — 1995. — 395 с.
6. Иофис М. А. О расчете сдвижения горных пород в условиях крутого падения угольных пластов. [Текст] : / М. А. Иофис // Уголь Украины, — 1960, — № 7. — С. 20—23.
7. Александров В. Г. Вопросы управления горным давлением на тонких крутых пластах Донбасса. [Текст]: / В. Г. Александров, А. В. Аксенов, Н. А. Алышев, Е. И. Питаленко и др. Донецк, — 1998. — 288 с.
8. Забровский А. С. Зона обрушения и зона прогиба с разрывом сплошности при отработке свиты пластов. [Текст]: / А. С. Забровский. // Уголь, — 1962. — № 5. — С. 8—16.
9. Кузнецов Г. Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок [Текст]: / Г.Н. Кузнецов // Сб. науч. тр. ВНИМИ – Л.: . — 1950. вып. 22. — С. 26—42.
10. Алексеев А. Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений. [Текст]: / А. Д. Алексеев, В. Н. Ревва, Н. А. Рязанцев. Киев. «Наукова думка», — 1989. — 168 с.
11. Земисев В.Н. Расчеты деформаций горного массива. — М., Недра 1973. — 102 с.
12. Питаленко Е. И., Влияние увлажнения горного массива на активизацию геомеханических процессов при закрытии угольных шахт. [Текст]: / Е. И. Питаленко, В.В. Васютина, В.Н. Ревва. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Донецьк. — 2011. — № 8. — С. 117—127.
13. В. Д. Слесарев Крепление подземных выработок. [Текст]: В.Д. Слесарев, А.А. Борисов — М.: Гостехиздат, — 1970. — 275 с.