

УДК 622.28, 622.831

## О ДЕФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «КРЕПЬ-МАССИВ» В УСЛОВИЯХ СЛОИСТЫХ ПОРОД ГЛУБОКИХ ШАХТ

**Халимендик Ю. М., Барышников А. С.**

*(Государственное ВУЗ «НГУ», г. Днепрпетровск, Украина)*

**Халимендик В. Ю.**

*(НПО «Механик», г. Донецк, Украина)*

*Викладено механізм деформування системи «кріплення-масив» виробок глибоких шахт. Наведено результати натурних спостережень за вдавленням стійок кріплення в підшву виробок. Обґрунтовано необхідність застосування під'ятників під стійки рамного кріплення в умовах порід середньої міцності.*

*The mechanism of deforming of the "support-rock massif" system of mine workings in deep mines is developed. The results of in-situ observations over the support racks penetration into the floor of workings are presented. Necessity of application of end-thrust bearings with racks of arch support under the conditions of medium-hard rock is substantiated.*

При ведении горных работ на малых глубинах подтверждено представление о формировании пород кровли выработок в виде сводов естественного равновесия [1]. Идея использования давления разрушенных пород кровли на крепь используется в действующих нормативных документах [2]. Примером эмпирического подхода к расчету горного давления является СНиП [3]. Основными целями этих документов есть решения задач выбора крепи.

Переход на большие глубины ведения работ требует изменения подходов к проектированию и использованию крепей [4–6]. Несмотря на стремление решать задачу с помощью исполь-

зования механики сплошной среды, использование неупругих деформаций пород вокруг выработки не нашло полного решения.

В данной статье обосновываются инженерные решения, внесенные в конструкцию арочной крепи и предотвращающие внедрение стоек в почву.

Первым, наиболее заметным проявлением горного давления является вертикальная конвергенция, которую можно рассматривать как сумму процессов:

1. опускание верхнего элемента крепи за счет:
  - проскальзывания в замковых соединениях,
  - пластических деформаций,
  - внедрения стоек крепи в почву;
2. поднятие почвы выработки.

Часто этот суммарный процесс ошибочно называют «пучением», что уводит от правильных инженерных решений по предотвращению потерь сечения выработки. Процесс вертикальной конвергенции проявляется в виде активного периода и менее активного, с постоянной скоростью деформации крепи и пород. Причиной этих процессов являются постоянно действующие упругие и неупругие деформации массива вокруг выработок. Часто ремонтные работы в виде перекрепления или подрывок приводят к активизации этих процессов [6].

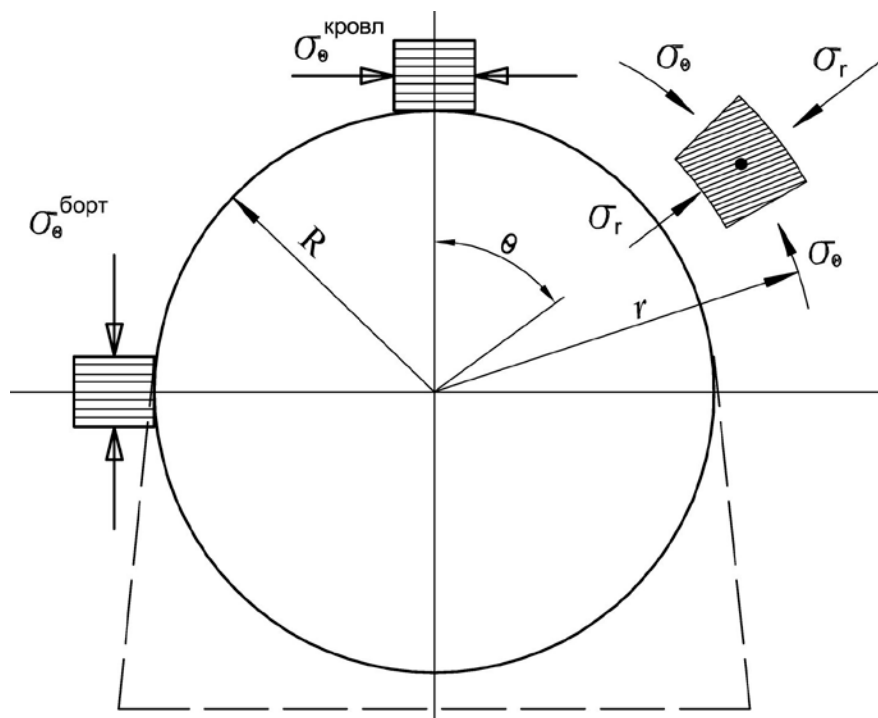
В упрощенном виде характер распределения напряжений горного массива вокруг выработки удобно рассмотреть в полярной системе координат (рис. 1) и описать формулами (1), (2) теории упругости [7].

$$\sigma_r = \frac{\gamma H}{2} \left[ (1 + \lambda) \left( 1 - \frac{R^2}{r^2} \right) + (1 - \lambda) \left( 1 - \frac{4R^2}{r^2} + \frac{3R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right] \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma H}{2} \left[ (1 + \lambda) \left( 1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - (1 - \lambda) \left( 1 + \frac{3R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right] \quad (2)$$

где:  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ , – соответственно: радиальные и нормальные тангенциальные напряжения в массиве пород после проведения выработки круглого сечения;

- $\gamma$  – удельный вес пород, МН/м<sup>2</sup>;  
 $H$  – глубина заложения выработки, м;  
 $\lambda$  – коэффициент бокового давления в нетронутом массиве;  
 $R$  – радиус выработки, м;  
 $r$  – радиус до рассматриваемой точки массива, м;  
 $\theta$  – угол полярной системы координат, град.



$\sigma_{\theta}^{кровл}$  – сжимающие нормальные тангенциальные напряжения, действующие в кровле параллельно породным слоям,

$\sigma_{\theta}^{борт}$  – сжимающие нормальные тангенциальные напряжения, действующие в бортах перпендикулярно породным слоям.

Рис. 1. Формирование напряженного состояния горного массива вокруг выработки круглого сечения

На примере шахты «Западно-Донбасская» приведем анализ деформирования системы «крепь-массив».

Ранее проводилась оценка напряженного состояния горного массива при проведении выработок [8] в горизонтальном и вер-

тикальном напрямленнях. На глибині 480 м коефіцієнт бокового отпора склав приблизно  $\lambda \approx 1$ . Межа міцності порід аргіліта і алевроліта на стиснення *перпендикулярно шлям* склала близько 25 МПа. При  $r = R$  згідно формулам (1), (2) по всьому контуру виробки діють тільки стискаючі нормальні тангенціальні напруження величиною  $2\gamma H$ , т.е. близько 25 МПа. В шаруватих породах коефіцієнт геометричної анізотропії змінюється від 1,3 до 2,0 [9]. Для аргілітів і алевролітів Західного Донбасу цей коефіцієнт змінюється від 2,7 до 3,4 [10]. Таким чином, в даху і ґрунті виробки межа міцності порід на стиснення *паралельно шлям* склала близько 8 МПа, що менше, приблизно в 3 рази від виникаючих стискаючих напружень  $\sigma_{\theta}^{\text{дах}}$  (рис. 1).

В цих умовах в даху і ґрунті виробок утворюються клина видавлювання шаруватих порід (рис. 2).

Така деформація порід навколо виробки відбувається на всіх глибоких вугільних шахтах України, бокові породи котрих мають шарувату структуру (рис. 3, 4).

Підняття порід ґрунту за рахунок видавлювання, як правило, називають «пученням». Зруйновані породи ґрунту сприяють впровадженню стоек крепи в ґрунт.

Переміщення стоек крепи в ґрунт відбувається по нахилній площині, представлена межовою порушених і не порушених порід (рис. 5).

Враховуючи горизонтальні пружні деформації гірського масиву, діючими на кінець стоек і рухомі їх по нахилній поверхні в бортах виробки, в початковій стадії неупругих деформацій порід навколо виробки утворюються порожнечі в бортах виробки між крепью і масивом. Тоді завантаження, при її щільній укладці в час проведення виробки, збирається з заворотом – в «гармошку» (рис. 6).



Рис. 2. Образование клина выдавливания пород кровли в условиях шахты «Западно-Донбасская»

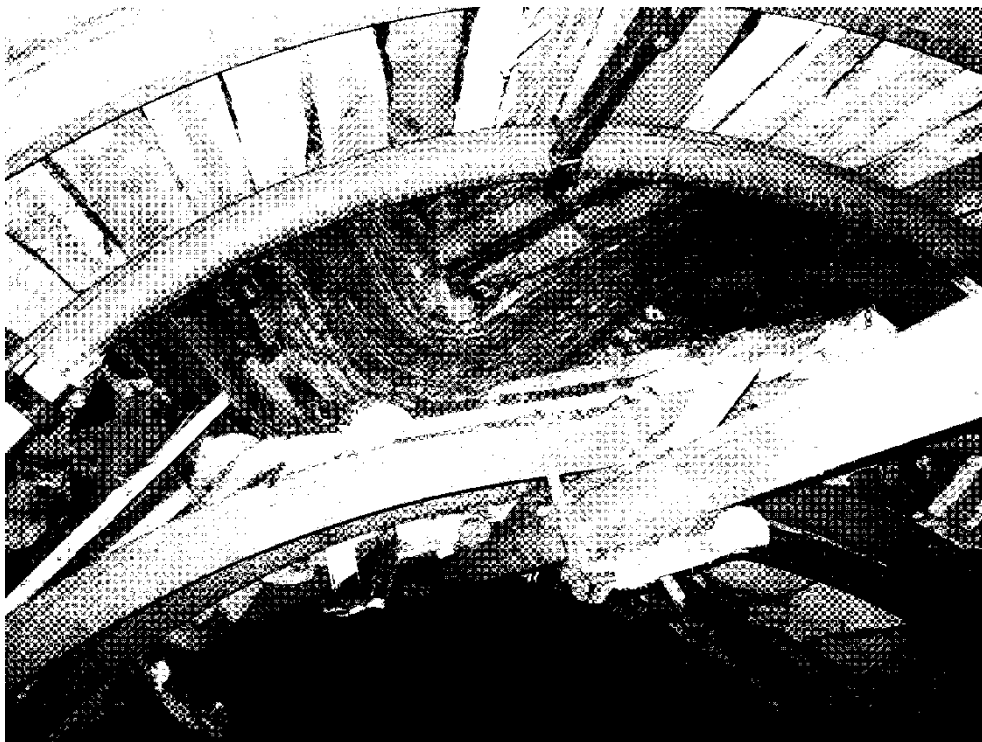
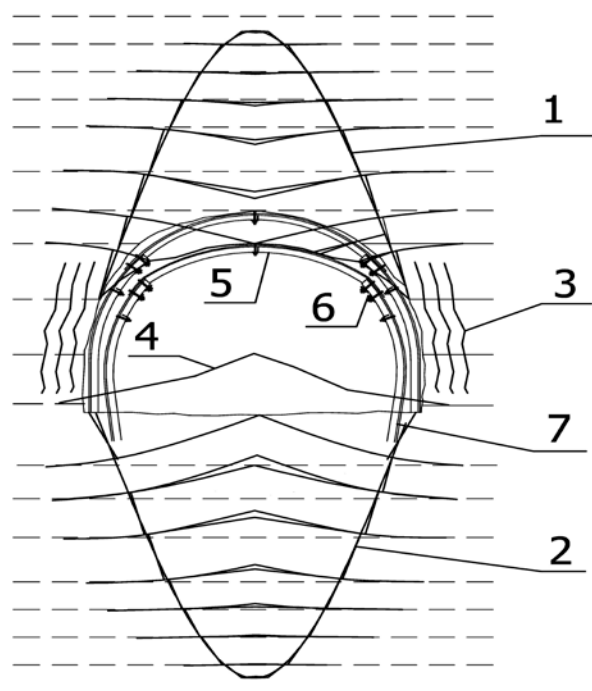


Рис. 3. Образование клина выдавливания пород кровли в условиях шахты «Свято-Андреевская»



Рис. 4. Выдавливание пород почвы в условиях шахты «Белозерская»



1 – клин выдавливания в кровле; 2 – клин выдавливания в почве; 3 – разрушение бортов вследствие образования клиньев выдавливания; 4 – поднятие почвы; 5 – опускание кровли; 6 – смещение в замках; 7 – внедрение стоек крепи в почву.

Рис. 5. Схема деформирования системы «крепь-массив» вокруг выработки глубокой шахты



Рис. 6. Явление складывания затяжки «в гармошку». Шахта «Комсомолец Донбасса»

Это явление в виде движения затяжки одна на другую является хорошим свидетельством внедрения стоек крепи в почву и позволяет визуально обнаруживать этот процесс без инструментальных наблюдений.

Внедрение стоек крепи в почву приводит к увеличению клина выдавливания пород кровли, а это в свою очередь – к увеличению давления на крепь [11].

Количественная оценка внедрения стоек крепи производилась на наблюдательной станции, заложенной в уклоне № 1 пласта  $l_8$  гор. 550 м шахты «Белозерская». Станция состояла из трех сечений с реперами, заложенными в бортах выработки, в кровле и в почве. Для определения каждой составляющей вертикальной конвергенции производилось нивелирование реперов с технической точностью. Выработка пройдена с горизонта 550 м на горизонт 830 м и во время проведения наблюдений находилась вне зоны влияния очистных работ. В кровле залегал алевролит ( $f = 3$ ),

непосредственная почва была представлена аргиллитами ( $f = 2$ ), основная почва – алевролитами ( $f = 5$ ). Динамика внедрения стоек в почву и поднятия самой почвы показана на графиках (рис. 7).

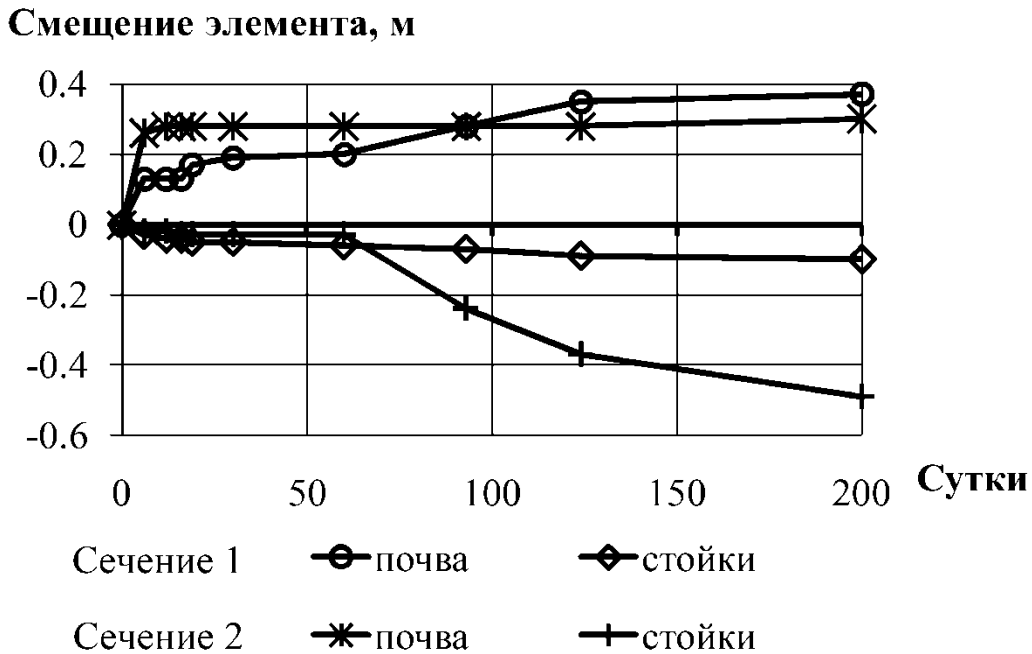


Рис. 7. Величины внедрения стоек крепи в почву, ш. «Белозерская»

Через 3 месяца на сечении № 2 началось интенсивное внедрение стойки в почву. На момент окончания наблюдений величина внедрения составила около 0,5 м (рис. 7, сечение 2). Внедрение стоек крепи с установленными подпятниками на сечении 1 на момент окончания наблюдений составляет порядка 0,1 м, что соответствует толщине штыба (рис. 7, сечение 1). При зафиксированном внедрении стоек, поднятие почвы по сечениям аналогично и составляет порядка 0,3 м. Таким образом, установленный подпятник в данных условиях предотвращает внедрение стойки крепи в почву более чем в 3 раза.

В условиях более крепких боковых пород (песчанистый сланец,  $f = 5-7$ ) проводились наблюдения в конвейерной выработке 11-й западной лавы пласта  $l_7$  шахты «Комсомолец Донбасса». Наблюдательная станция была заложена на глубине 780 м до начала влияния очистных работ. В арочной крепи подпятники не применялись.



Установлено, что интенсификация процесса внедрения стойки крепи в почву начинается за 10 до лавы и в момент нахождения лавы в створе с замерным сечением составляет около 0,5 м (рис. 8). При этом отметки почвы выработки впереди лавы и в 10 метрах после ее прохода не изменяются, что свидетельствует об отсутствии процесса пучения.

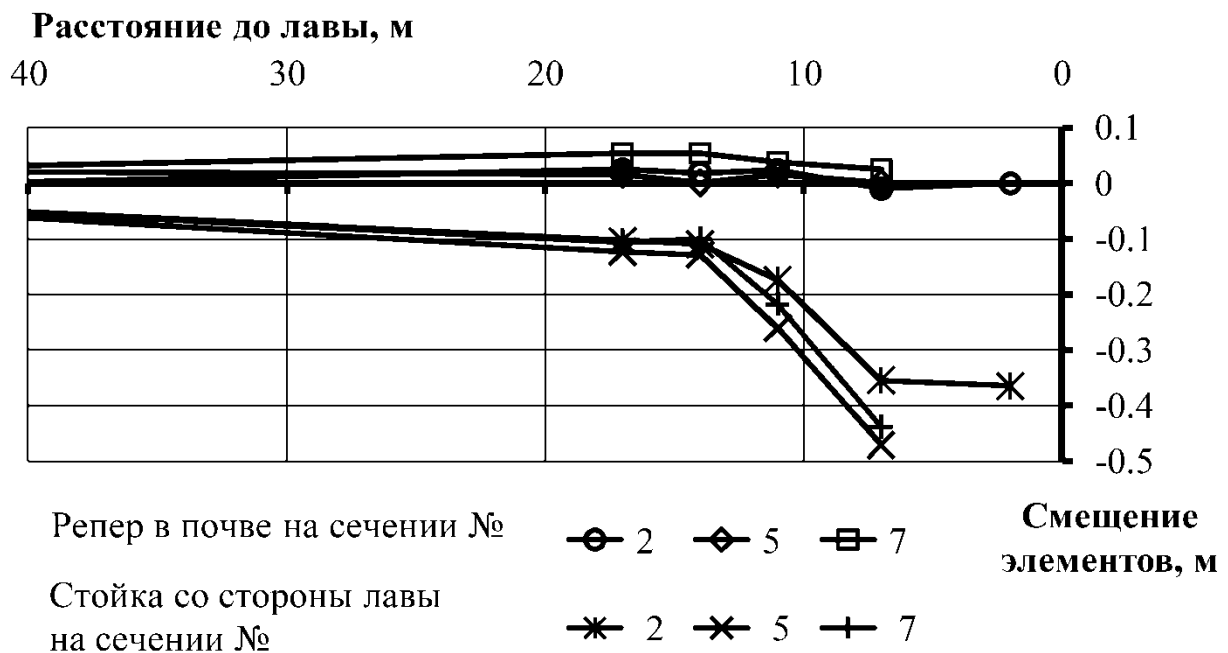


Рис. 8. Внедрение стоек крепи в почву, ш. «Комсомолец Донбасса»

Для уменьшения процесса внедрения стоек крепи в почву СОУ [2] предусматривает применение в условиях слабых боковых пород подкладки или лежаки под стойки крепи. Однако, в случае пород средней крепости, процесс выдавливания пород кровли и почвы приводит к значительному уменьшению их расчетной крепости.

В процессе перекрепления выработок на шахте «Свято-Андреевская» с крепостью пород  $f = 6$  было отмечено самозатягивание концов стоек при их внедрении в почву (рис. 9).

Исследования, проведенные сотрудниками НГУ Украины и ОАО «Павлоградуголь» [12–15], показали, что величина внедрения стоек крепи в почву достигает 0,4 м. При перекреплении панельных выработок, часто из-за большого внедрения стоек в поч-

ву (до 1,5 м) их приходится оставлять в массиве, «срезая» верхнюю часть.



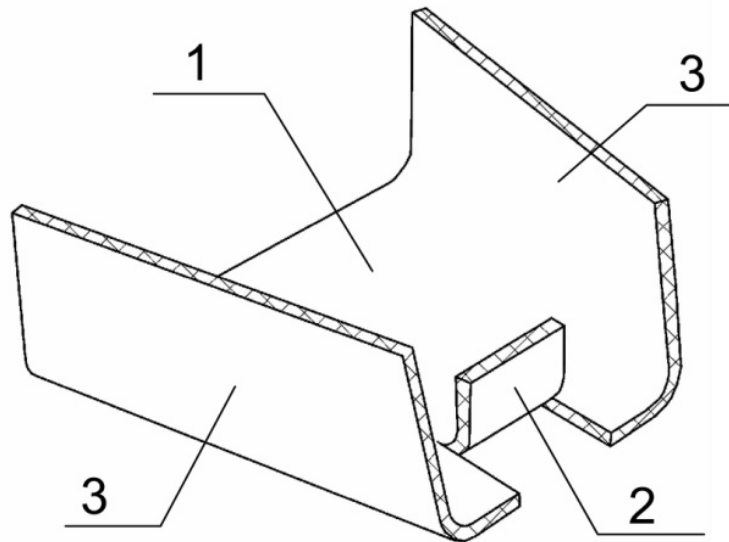
Рис. 9. Явление самозатачивания концов стоек арочной крепи при внедрении их в породы почвы. Шахта «Свято-Андреевская»

В условиях шахты «Юбилейная» длительное время производилось наваривание отрезков спецпрофиля на торец стоек и усиление сопротивления замковых соединений крепи. Это позволило увеличить шаг установки крепи с 0,5 м до 0,8–1,0 м. Однако, технология наваривания отрезков металла на торец профиля имеет ряд недостатков: большая трудоемкость работ по подготовке крепи, сложность пакетной транспортировки стоек крепи, сложность извлечения стоек при погашении выработок.

Сотрудниками ООО «Донбасскрепь» разработан новый вариант опорного башмака для металлической крепи из СВП (рис. 10). Изделие изготавливается из отрезка листового металлопроката и имеет:

– плоскую основу 1 в форме равнобокой трапеции, на которую опирается торец стойки;

- средний упор 2, который опирается на внутреннюю поверхность дна профиля;
- боковые симметричные упоры 3, которые опираются на внешние поверхности флангов профиля.



1 – основа;  
2, 3 – упоры.

Рис. 10. Опорный башмак

Конструкция этого опорного башмака позволяет производить его монтаж на стойку металлокрепки непосредственно перед её установкой, что в свою очередь упрощает процесс транспортировки и установки, снижая трудоемкость работ.

При выемке горной массы комбайном такая опора не попадает в зону работы рабочего органа комбайна.

#### **Выводы.**

1. В условиях глубоких шахт в кровле и почве выработок, пройденных в слоистом анизотропном массиве, образуются клинья выдавливания пород.

2. Внедрение стоек крепи в почву происходит не только при слабых боковых породах, а и при их средней крепости. Основным фактором, влияющим на интенсивность этого процесса, является деформирование пород почвы в результате выдавливания, что влечет потерю первоначальной крепости. Областью применения

подпятников или подкладок является наличие низкой расчетной крепости пород почвы, например, в зоне влияния опорного давления очистных работ.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Протоdjяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление [Текст] М. М. Протоdjяконов. — М.–Л. : ОГИЗ, 1931. — 186 с.
2. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст]. Мінвуглепром України. — К., 2007. — 113 с.
3. СНиП-94-80. Подземные горные выработки [Текст]. Госстрой СССР — М. : Стройиздат, 1982. — 24 с.
4. Заславский Ю. З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донбасса [Текст] Ю. З. Заславский. — М : «Недра», 1966 — 267 с.
5. Литвинский Г. Г. Фундаментальные закономерности и новая классификация проявлений горного давления [Текст] / Г. Г. Литвинский // Наукові праці ДонНТУ. Серія «гірничо-геологічна». Вип. 10 (151). 2009 р. С. 21—28.
6. Зорин А. Н. Механика разрушения породного массива и ее использование при добыче полезных ископаемых [Текст] / А. Н. Зорин, Ю. М. Халимендик, В. Г. Колесников. — М. : ООО «Недра-Бизнесцентр» — 2001 г. — 413 с.
7. Баклашов И. В. Механика подземных сооружений и конструкций крепей [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. — 2-е изд. — М. : Недра, 1992. — 543 с.
8. Мещаников С. К. Определение компонент напряжений массива горных пород. [Текст] / С. К. Мещаников, Ю. М. Халимендик // Геотехническая механика. Зб. научных трудов ИГТМ НАН Украины. — Днепропетровск. 2000 — вып. 22, С. 75—79.
9. Протосеня А. Г. Геомеханика. [Текст] / А. Г. Протосеня, О. В. Тимофеев; СПбГГИ им. Г. В. Плеханова. — СПб. — 2008.

10. Усаченко Б. М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. [Текст] / Б. М. Усаченко — К. : «Наукова думка» 1979. — 136 с.
11. Халимендик Ю. М. Определение зависимости пучения почвы от высоты свода обрушения пород в горной выработке [Текст] / Ю. М. Халимендик, А. С. Барышников // Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. Випуск 30. ДВНЗ «КНУ», 2012 р.
12. Ковалевська І. А. Дослідження впливу геомеханічних параметрів вуглевмісного масиву слабких порід на здимання підшви виробки [Текст] / І. А. Ковалевська О. Р. Мамайкін, В. В. Фомичов // Науковий вісник НГУ. — 2008. — № 7. — С. 32—35.
13. Колоколов О. В. О вертикальной конвергенции пород в условиях слабой почвы [Текст] / О. В. Колоколов, А. В. Шмиголь, Ю. М. Халимендик // Уголь Украины. — 1986. — № 11 (ноябрь).
14. Ковалевська І. А., Розрахунок величини вдавлювання стояків рамного кріплення у слабкі породи підшви пластової виробки [Текст] / І. А. Ковалевська, О. В. Вівчаренко, В. Г. Черватук, О. Р. Мамайкін // Науковий вісник НГУ. — 2009. — № 12. — С. 10—15.
15. A. Mamaykin, V. Lapko and L. Tokar. Methods of calculation of pressing value of frame support's props New Techniques and Technologies in Mining. «Abalkema book». — 2010. — p. 255—258.