

*д.т.н. Литвинский Г.Г.,  
Павлов Е.Е.  
(ДонГТУ, Украина, sggs-donstu.ucoz.ru)*

## **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАМНОЙ КРЕПИ ПУТЁМ ВЗРЫВНОЙ РАЗГРУЗКИ ПОРОД**

*Методом кінцевих елементів вивчені закономірності зміни працездатності рамного кріплення гірничої виробки залежно від зміни виду навантаження і параметрів вибухового розвантаження порід навколо гірничої виробки.*

**Ключові слова:** *підготовка виробки, рамне кріплення, працездатність рами, вибухове розвантаження, заряд рихлення, вигинальний момент, моделювання методом кінцевих елементів.*

*Методом конечных элементов изучены закономерности изменения работоспособности рамной крепи горной выработки в зависимости от изменения вида нагрузки и параметров взрывной разгрузки пород вокруг горных выработок.*

**Ключевые слова:** *подготовительная выработка, рамная крепь, работоспособность рамы, взрывная разгрузка, заряд рыхления, изгибающий момент, моделирование методом конечных элементов.*

Эффективность разработки угольных месторождений в значительной мере связана с проблемой обеспечения устойчивости подготовительных выработок. В настоящее время их эксплуатационное состояние на шахтах Донбасса значительно ухудшилось, что обусловлено увеличением глубины разработки, интенсивным проявлением горного давления а также, в значительной мере, низким качеством сооружения (большие пустоты закрепного пространства, отсутствие или плохое качество забутовки, неровный контур выработки и др.), что раскрыто в работе [1]. Неудовлетворительное состояние выработок и необходимость их ремонта приводят к резкому возрастанию трудовых и материальных затрат, замедлению горно-подготовительных и очистных работ, снижению технико-экономических показателей шахты.

В настоящее время более 90% горных выработок крепят металлической податливой крепью, эксплуатационное состояние которой обеспечивают различными способами:

1. применением рациональных способов охраны горных выработок (проведение с запасом на осадку, разгрузка щелями и с помощью БВР и др.)
2. повышением несущей способности конструкции крепи (увеличение сечения профиля, большая жесткость узлов податливости т.п.);
3. устранением повреждения крепи от буровзрывных работ;
4. ремонтами и перекреплением деформированной крепи в эксплуатируемых выработках.

Однако эти способы повышения устойчивости выработок исчерпали свои возможности и не дают требуемого эффекта, поэтому объём ремонта деформированных выработок с каждым годом увеличивается.

В соответствии с техническими условиями проведения горной выработки работоспособность крепи оценивают исходя из идеализированных предпосылок: контур выработки достаточно гладкий, пустоты за крепью отсутствуют, а при их наличии они заполнены мелкой породой, нагрузка на рамную крепь равномерная со всех сторон и т.д. Однако в реальных условиях сооружения большинства горных выработок технические условия [2] не выполняются:

1. Пустоты закрепного пространства превышают нормативные при буровзрывном способе в 1,7 раза, а при комбайновой выемке в 2 раза.
2. Закрепное пространство не заполнено забутовкой.
3. При комбайновой выемке средняя ширина пустот закрепного пространства превышает ширину пустот в выработке, пройденной буровзрывным способом, в 1,15 раза.

Это приводит к деформации рамной крепи, уменьшению её несущей способности в 2...5 раз, и, в конечном итоге, перекреплению и частым ремонтам.

Одним из перспективных способов повышения устойчивости выработки и состояния крепи является перераспределение нагрузки на рамную крепь с помощью взрывной разгрузки массива от напряжений в кровле горной выработки. Так, при взрыве трех зарядов рыхления [3], можно добиться равномерно распределенной нагрузки на крепь, однако при дальнейшей эксплуатации выработки по мере роста смещений пород кровли максимальная нагрузка  $q_{\max}$  смещается к центру верхняка, где и возникает максимальный изгибающий момент, что нежелательно. Однако эта актуальная задача по определению работоспособности рамной крепи при различных распределениях нагрузки на раму со стороны массива при взрывной разгрузке кровли до настоящего времени не рассматривалась.

Цель исследований – оценить повышение работоспособности рамной крепи способом взрывной разгрузки пород кровли за счёт создания различных видов распределения внешней нагрузки на раму. Зада-

чами исследования являлось установление закономерностей изменения работоспособности рамной крепи при формировании различных видов нагрузки с кровли выработки. Объект исследования – работоспособность рамной крепи, а субъект – закономерности управления нагрузкой на крепь.

На кафедре «Строительная геотехнология и горные сооружения» ДонГТУ предложен способ управления нагрузкой на рамную крепь горной выработки. Сущность взрывного способа создания различного распределения нагрузки на рамную крепь состоит в том, что за счет бурения разгрузочных шпуров и взрывания в них зарядов взрывчатого вещества (ВВ) вокруг выработки создают различные виды распределения нагрузки на рамную крепь (равномерную, параболическую, по закону треугольника и др.)

Предложенный способ для арочной крепи (рисунок 1) выполняют следующим образом.

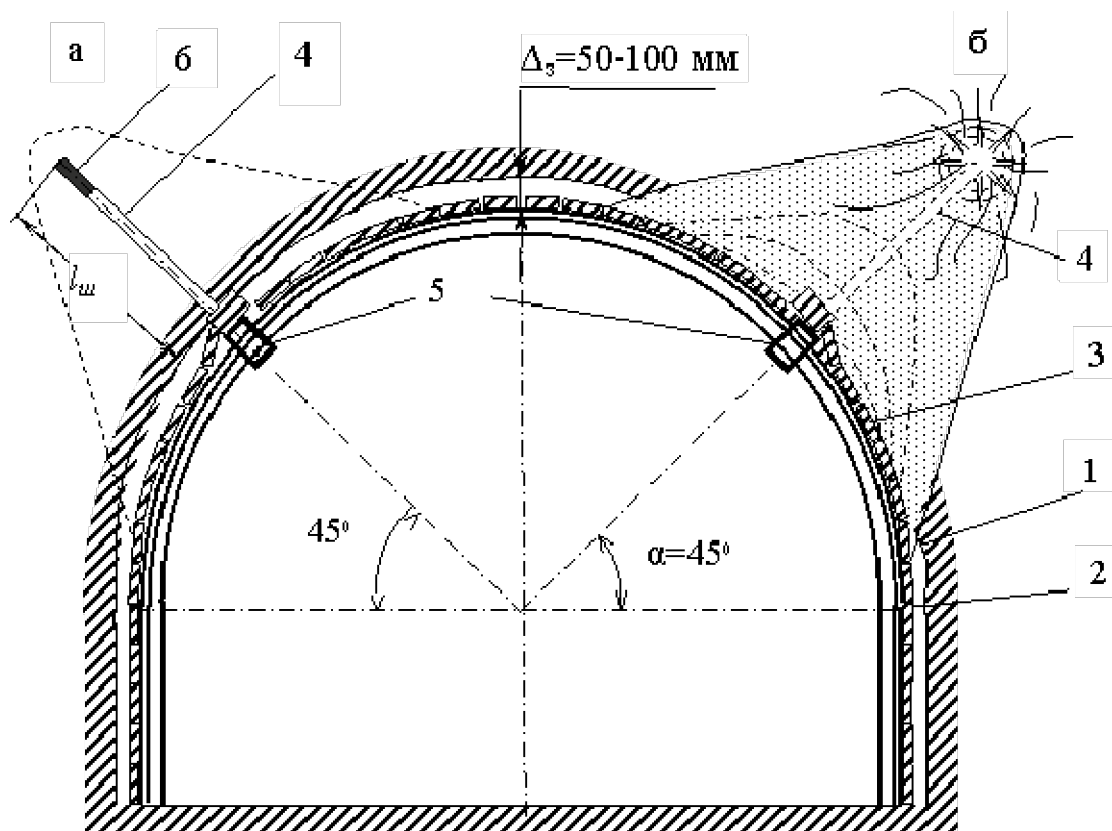


Рисунок 1 - Способ управления нагрузкой на крепь горной выработки двумя зарядами ВВ для арочной крепи  
а) до взрывной разгрузки; б) после взрывной разгрузки

При проведении выработки 1 после возведения рамного крепления 2 и установки затяжки 3 по контуру рамы одновременно со шпурами по забою бурят в кровле два боковых разгрузочных шпура 4 в районе

узлов податливости 5 рамного крепления 2 на глубину  $l_{uz}$  таким образом, чтобы заряды 6 ВВ в разгрузочных шпурах 4 располагались в плоскости рамы крепления. Разгрузочные шпуры 4 заряжают камуфлетными зарядами 6 ВВ и взрывают их одновременно с взрыванием шпуров по забою, создавая разгруженную зону в кровле выработки.

Для трапецевидной (рисунок 2) крепи способ управления нагрузкой на рамное крепление горной выработки выполняют следующим образом.

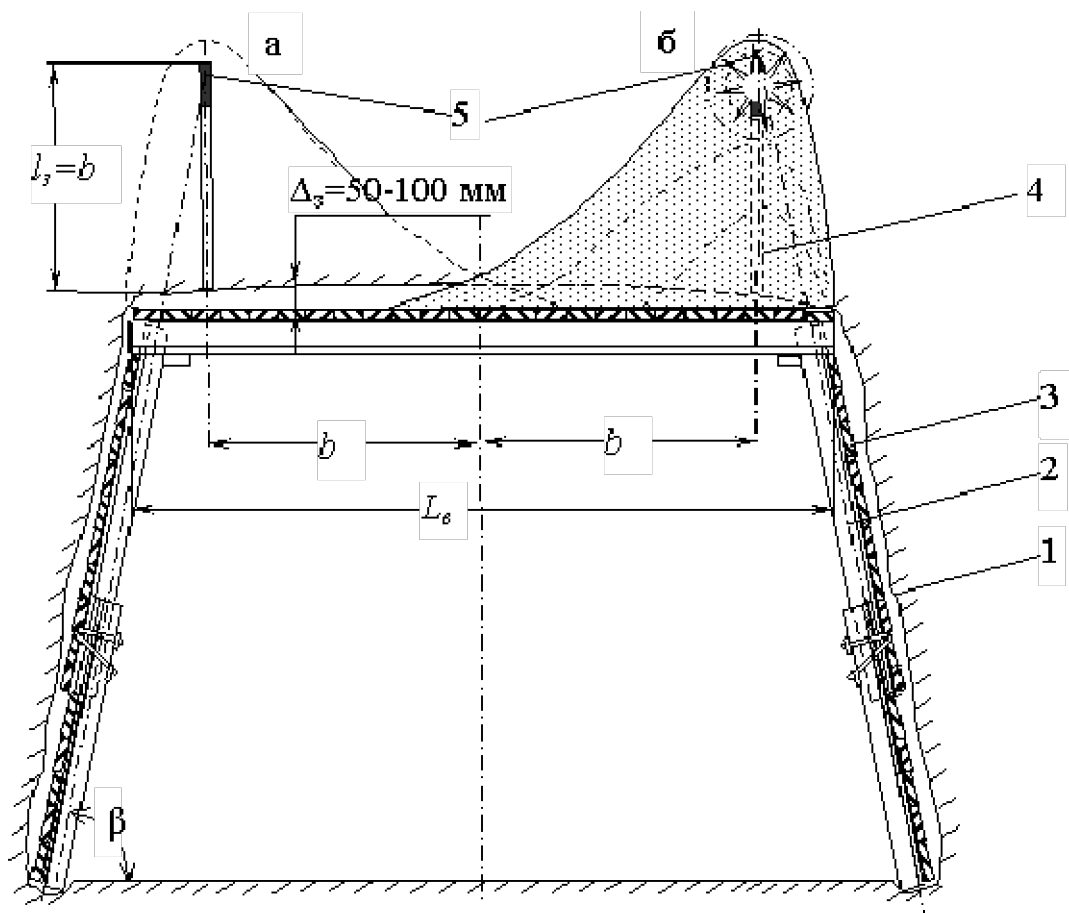


Рисунок 2 - Способ управления нагрузкой на крепь горной выработки двумя зарядами ВВ для трапецевидной крепи  
а) до взрывной разгрузки; б) после взрывной разгрузки

При проведении выработки 1 после возведения рамного крепления 2 и монтажа затяжки 3 по контуру выработки, бурят в кровле два разгрузочных шпура 4 на расстоянии между зарядом взрывчатки и вертикальной осью выработки  $b$  на глубину  $l_3$  таким образом, чтобы заряды 5 ВВ в разгрузочных шпурах 4 располагались в плоскости рамы крепления и на продолжении линии стойки рамного крепления на глубине, которая равняется расстоянию от заряда к вертикальной оси выработки, а

при изменении глубины заряда, расстояние к вертикальной оси выработки определяют по формуле:

$$\frac{L_6}{4} \leq l_3 = b \leq \frac{L_6 \cdot \operatorname{tg}\beta}{2(1 + \operatorname{tg}\beta)}, \quad (1)$$

где  $L_6$  - длина верхняка рамного крепления;

$b$  - расстояние от вертикальной оси выработки к заряду;

$\beta$  - угол наклона стойки рамного крепления к горизонту;

$l_3$  - глубина заряда.

Для определения грузонесущей способности крепи воспользуемся методом конечных элементов с помощью программного комплекса «Лира» [4]. Для моделирования следует выбрать достаточно простой профиль, эквивалентный по несущей способности стандартному взаимозаменяемому спецпрофилю для рамной крепи. Вместо стандартного спецпрофиля (рис.3а) примем равнопрочный по изгибающим моментам квадратный профиль (рис. 3б). Примем для крепи спецпрофиль СВП №27 ( $W_x = 100,2 \text{ см}^3$ ) [5], причём коэффициент подобия для момента сопротивления  $\alpha_w$  должен удовлетворять условию:

$$\alpha_w = \frac{W_k}{W_x} = 1; \quad (2)$$

где  $W_k$  - момент сопротивления для модели крепи с профилем квадратного сечения,  $\text{см}^3$ ;

$W_x$  - момент сопротивления профиля СВП №27 по оси  $x$ ,  $\text{см}^3$ .

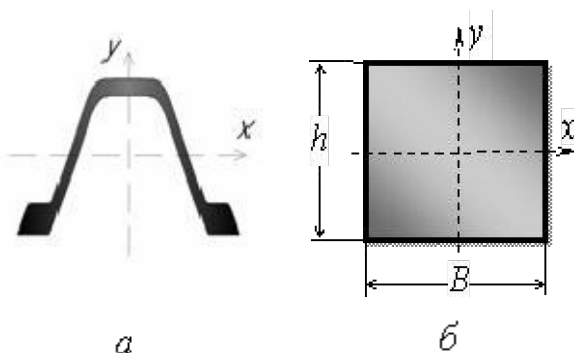


Рисунок 3 – Схема профилей крепи

Момент сопротивления эквивалентного профиля прямоугольного сечения по оси  $x$  определяется по формуле [6]:

$$W_K = \frac{J}{z_{\max}} = \frac{2J}{h} = \frac{B \cdot h^2}{6}, \text{ см}^3, \quad (3)$$

где:  $z_{\max} = \frac{h}{2}$  – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленных от нее точек, см;

$h$  – высота профиля, см;

$B$  – ширина профиля, см;

$J$  – момент инерции,  $J = \frac{B \cdot h^2}{12}$ ,  $\text{см}^4$ .

Для эквивалентного квадратного профиля при  $B=h$  и  $W_K = W_x$ , находим ширину сторон по формуле:

$$h = \sqrt[3]{6W_K} = \sqrt[3]{6 \cdot 100,2} = 8,42 \text{ см}. \quad (4)$$

Из типовых сечений в ПК ЛИРА принимаем сталь горячекатаную квадратную с профилем 85x85 мм по ГОСТ 2591-88. Отсюда находим уточненный момент сопротивления профиля прямоугольного сечения по оси  $x$ :

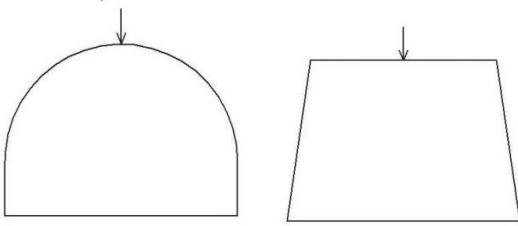
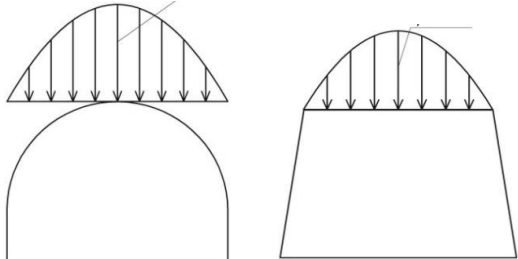
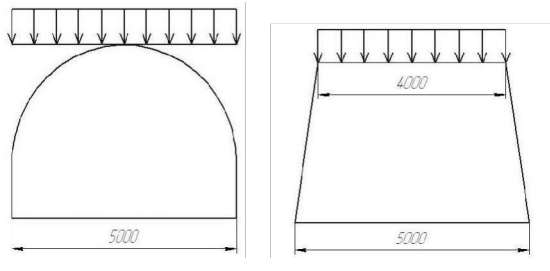
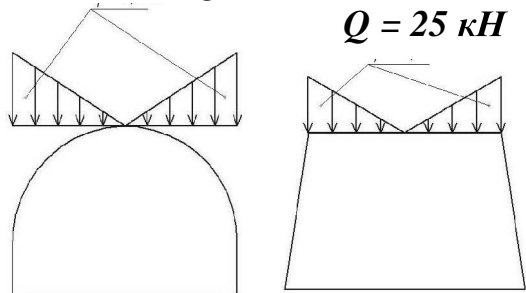
$$W_K = \frac{8,5^2}{6} = 102,3 \text{ см}^3. \quad (5)$$

Погрешность использования квадратного профиля вместо спец-профиля СВП №27 составила 2%, что вполне допустимо для дальнейших расчетов.

Исследуем работоспособность этих крепей при различных видах распределения нагрузки, каждая из которых соответствует суммарной нагрузке на крепь  $Q = 50 \text{ кН}$ , что для равномерной нагрузки даёт  $q = 10 \text{ кН/м}$  (таблица 1). Для моделирования задаемся геометрическими параметрами арочной и трапециевидной крепи, соответствующие типовым сечениям горных выработок.

При выборе типа крепи и плотности ее установки в горной выработке по нормам [7] рассчитывают работоспособность крепи с параболической нагрузкой. Однако, как правило, из-за плохого качества забутовки закрепного пространства либо её отсутствия, нагрузка на верхняк крепи ближе к сосредоточенной силе, вследствие чего работоспособность крепи уменьшается в 1,5...2,5 раза.

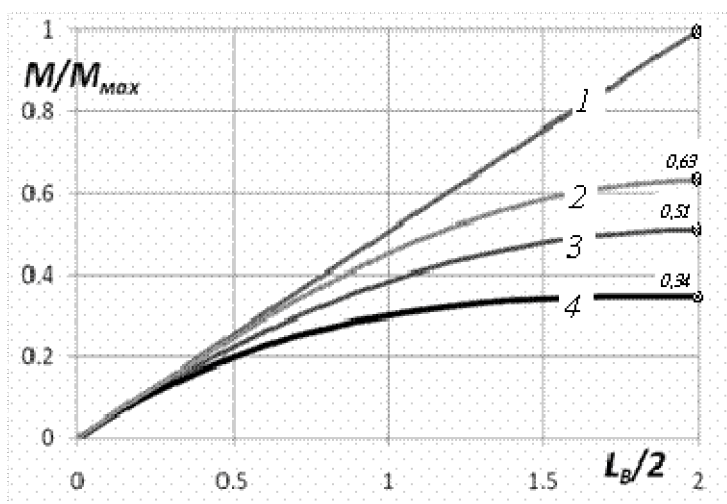
Таблица 1 – Виды нагрузок на арочную и трапециевидную рамную крепь

Точечная	Параболическая
<p style="text-align: center;"><math>Q = 50 \text{ кН}</math></p> 	<p style="text-align: center;"><math>Q = 50 \text{ кН}</math></p> 
Равномерно распределенная	По закону треугольника
<p style="text-align: center;"><math>q = 10 \text{ кН/м}</math>      <math>q = 12,5 \text{ кН/м}</math></p> 	<p style="text-align: center;"><math>Q = 25 \text{ кН}</math>      <math>Q = 25 \text{ кН}</math></p> 

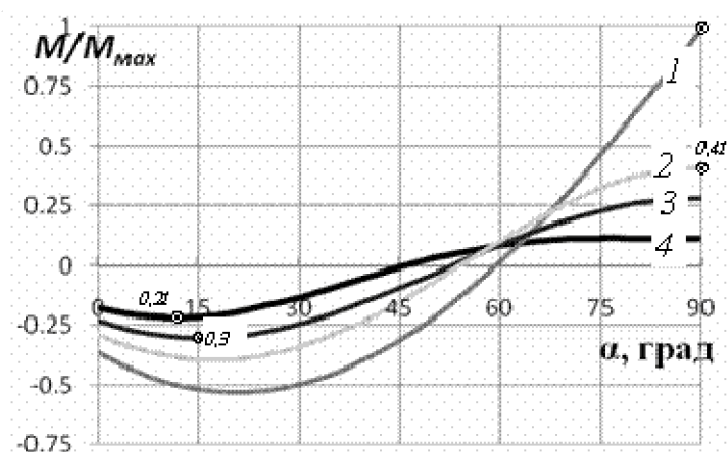
При выполнении всех технических условий по проведению работ, рабочий отпор крепи в податливом режиме ограничивается жесткостью замков податливости, так например, у арочной податливой крепи КМП-А3 с профилем СВП №27 и замками ЗПК, отпор составляет 250 кН, а в жестком режиме – 406 кН [7]. Повышение работоспособности крепи в податливом режиме весьма проблематично, т.к. связано с необходимостью повышения сопротивления замка податливости, а вот повышение работоспособности рамной крепи в жестком режиме, когда крепь достигла своей максимальной податливости, возможно путем перераспределения большей части нагрузки на стойки крепи.

Рассмотрим графики изменения изгибающих моментов верхняка трапециевидной и арочной крепи при различных видах нагрузки, полученные путём моделирования методом конечных элементов.

Графики на рисунке 4а показывают изменение отношения  $M/M_{max}$  изгибающего момента  $M$  в верхняке трапециевидной крепи по мере удаления от края верхняка к его центру к максимальному моменту  $M_{max}$  создаваемому при точечной нагрузке.



а)



б)

Рисунок 4 – Графики изгибающих моментов рамной крепи

треугольника на рамную арочную крепь имеет наименьший изгибающий момент и в 2 раза меньше момент по сравнению с моментом от нагрузки по параболическому закону. Следовательно, несущая способность арочной крепи КМП-А3 с профилем СВП №27 будет равна  $Q = 406 * 2 = 812 \text{ кН}$ .

Таким образом, в результате проведенного исследования возможности повышения несущей способности рамной крепи при управлении распределением нагрузки за счет применения способа взрывной разгрузки пород можно сделать следующие выводы:

1 При выполнении взрывной разгрузки пород в кровле выработки можно обеспечить различные распределения нагрузки:

1.1 параболическое при взрывании одного заряда рыхления по центру верхняка;

Из графиков видно, что наименьший изгибающий момент при одинаковом  $Q$  имеет рама с нагрузкой, распределённой по закону треугольника (4), что меньше в 3 раза момента от единичной нагрузки (1), в 2 раза меньше момента от параболической (2) и в 1,5 раза от равномерно распределенной (3).

Следовательно, плотность установки трапецевидной крепи после взрывной разгрузки пород можно уменьшить в два раза.

Проанализируем графики изменения показателя  $M/M_{max}$  по окружности рамной крепи  $\alpha$  (где  $90^0$  – центр верхняка),

Из графиков видно, что приложенная нагрузка по закону тре-



- 1.2 равномерное при взрывании трёх зарядов рыхления заряда рыхления в кровле выработки;
- 1.3 по закону треугольника при взрывании двух зарядов рыхления над стойками рамной крепи;
- 2 Показатель изменения изгибающих моментов в обеих конструкциях рамной крепи значительно уменьшается по мере перехода от сосредоточенной к другим видам распределения нагрузок (параболической, равномерной и треугольной);
- 3 При использовании способа взрывной разгрузки двумя зарядами рыхления над стойками рамной крепи, обеспечивающем треугольное распределение нагрузки, плотность установки крепи можно уменьшить в два раза для арочной и трапециевидной формы рамы;
- 4 Способ взрывной разгрузки пород позволяет существенно повысить устойчивость породных обнажений, что особенно актуально для ведения горных работ на больших глубинах при интенсивном проявлении горного давления.

#### **Библиографический список**

1. Павлов Е.Е. Анализ негативных последствий переборов при проходке горных выработок. Сб. научных трудов Донбасского государственного технического университета – Алчевск: ДонГТУ, Вып. 28, 2009 – с. 125-133.
2. СНиП 3.02.03-84. Подземные горные выработки / Госстрой СССР. - М.: ЦИТИ Госстрой СССР, 1985. – 15 с.
3. Патент 29057 Україна, МПК<sup>8</sup> E 21 D 11/00. Спосіб вибухового розвантаження порід навколо виробки / Литвинський Г.Г., Павлов Є.Є.; заявник і патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. - № а200711987 ; заявл. 30.10.2007 ; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1. – 3 с.: іл.
4. Программный комплекс ПК ЛИРА – Киев: НИИАСС. 1995-2002г.
5. Справочник по креплению горных выработок. Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра», 1976. - 508с.
6. Сопротивление материалов, Н.М. Беляев, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. 608с.
7. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. вибір кріплення, способів і засобів охорони: [чинний від 2008-04-01]. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.