

УДК 622.831

АНАЛИЗ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ильяшов М. А., Кожушок О. Д.
(Группа "Энерго", г. Донецк, Украина)

Розглянуто комбіновану охоронну систему для підтримання штреків у складі рамного кріплення, анкерного стяжного кріплення і литої смуги. Представлено результати математичного моделювання взаємодії системи з породним масивом після проходження лави.

The combined security system for maintenances of drifts in structure of a framed linings, anchor coupling linings and cast strips is considered. The results of mathematical modelling interactions of a system with a rock mass after pass of lavas are submitted.

Одной из острых проблем на угольных шахтах Донбасса является значительное увеличение затрат на поддержание и ремонт выемочных штреков. Отечественный и мировой опыт показал, что для их безаварийного поддержания в условиях больших глубин необходимо использование комбинированных охранных систем [1-6]. В условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1» накоплен опыт охраны выемочных штреков, как до подхода лавы, так и за лавой с использованием комбинированной охранной системы, включающей рамно-анкерное крепление и однорядную литую полосу [1]. Однако анализ опыта охраны выработок по указанной схеме свидетельствует, что она эффективна при умеренных нагрузках на очистной забой. Увеличение среднесуточной добычи связано с возрастанием скорости перемещения линии забоя. Как показали результаты натурных исследований, величина

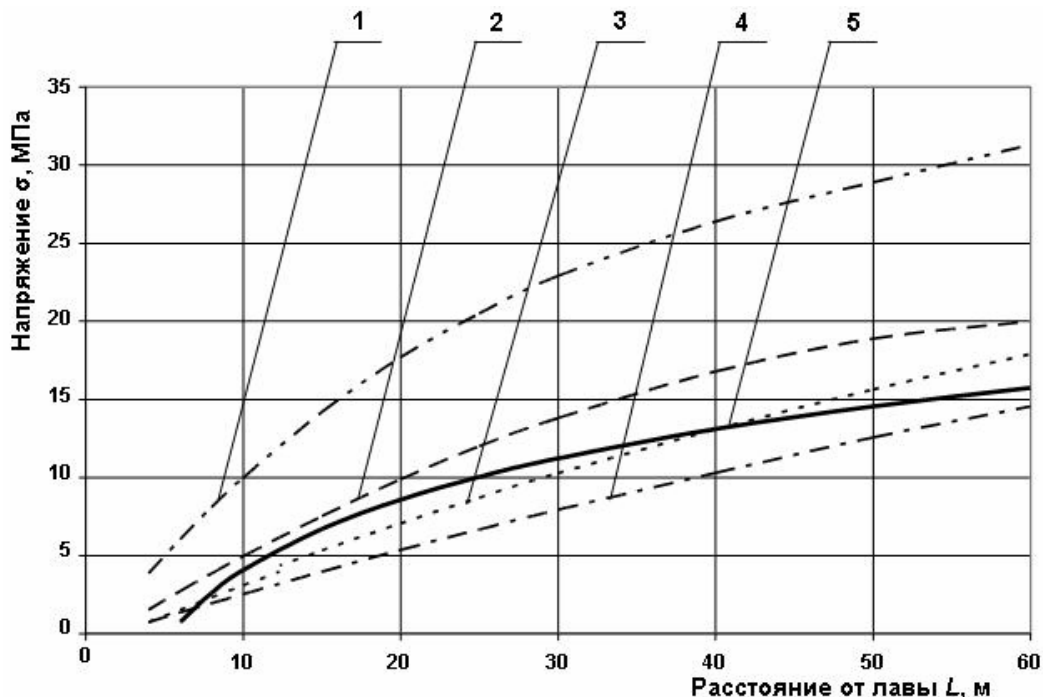
вертикальных сжимающих напряжений σ_v (МПа) в материале однорядной литой полосы на ее начальном участке связана с удалением от лавы L (м) эмпирической зависимостью

$$\sigma = 6,6 \ln L - 11,5 \quad (1)$$

В то же время, величина прочности материала полосы на одноосное сжатие $\sigma_{сж.}$ (МПа) связана со временем t (сут) твердения материала эмпирической зависимостью

$$\sigma_{сж.} = 0,001 t^3 - 0,079 t^2 + 2,55 t - 0,93 \quad (2)$$

С учетом закономерности (2) были построены графики изменения предела прочности на одноосное сжатие материала полосы в зависимости от расстояния до лавы при различной скорости подвигания забоя: 2, 4, 6 и 8 м/сут. На полученное семейство кривых был наложен график изменения величины сжимающего напряжения от расстояния до лавы, соответствующий зависимости (1), что представлено на рисунке 1.



1 – 2м/сут, 2 – 4 м/сут, 3 – 6 м/сут, 4 – 8 м/сут, 5 – зависимость сжимающих напряжений в материале полосы по мере удаления от лавы

Рис. 1. Изменение предела прочности на одноосное сжатие материала литой полосы при различной скорости перемещения забоя

Рисунок 1 свидетельствует, что для конкретной конструкции однорядной литой полосы существует критическая скорость подвигания очистного забоя, при которой набор прочности материала полосы происходит быстрее, чем нарастание нагрузок на нее. Интенсификация очистных работ, вследствие которой суточное перемещение линии забоя превышает 4 м, приводит к перегрузке конструкции уже на начальном этапе ее существования, необратимым деформациям и существенному снижению несущей способности в дальнейшем, даже при полном отвердении материала.

Простое увеличение ширины полосы для снижения давления на нее приводит к существенному возрастанию трудовых и материальных затрат на ее возведение. При поиске приемлемых вариантов усиленной конструкции литой полосы путем физического моделирования одним из перспективных направлений оказалось дополнение базовой конструкции органной крепью с оставлением разгрузочной ниши между твердеющим материалом и выработанным пространством.

Авторами проработана математическая модель, в которой базовая конструкция литой полосы изменена с учетом результатов физического моделирования и она является равноправным элементом комбинированной охранной системы, содержащей также рамную и анкерную стяжную крепь. Модель описывает распределение напряжений в системе «комбинированная охранная система – породный массив» при условии, что посадка основной кровли еще не произошла, а непосредственная кровля уже обрушилась в выработанное пространство за пределами охранной конструкции. На основании экспериментальных данных принято допущение, что обрушение непосредственной кровли происходит по линии, проходящей через верхний угол охранной конструкции и наклоненной в сторону выработанного пространства под углом 70° .

Начальная площадь поперечного сечения выработки $15,6 \text{ м}^2$. Выработка закреплена рамной крепью типа КМП-А3 с шагом 1 м. В кровле между рамами установлена анкерная стяжная крепь, каждое звено которой состоит из пары наклонно установленных в кровлю выработки анкеров, соединенных между собой стяжкой.

Непосредственная кровля и почва угольного пласта представлена алевролитом. Основная кровля и почва – песчаник. Порода в зоне обрушения, а также в приконтурной зоне выработки на глубине до 0,5 м наделены особыми свойствами.

Задача сформулирована в плоской постановке. Размеры расчетной области: 45 м по горизонтали и 26 м по вертикали. Граничные условия заданы следующим образом:

на верхней горизонтальной границе модели – равномерная нагрузка гравитационного происхождения $\sigma_y = \gamma H = 20$ МПа и отсутствие касательных напряжений $\tau_{xy} = 0$;

на вертикальных боковых поверхностях - запрет горизонтальных деформаций $U_x = 0$;

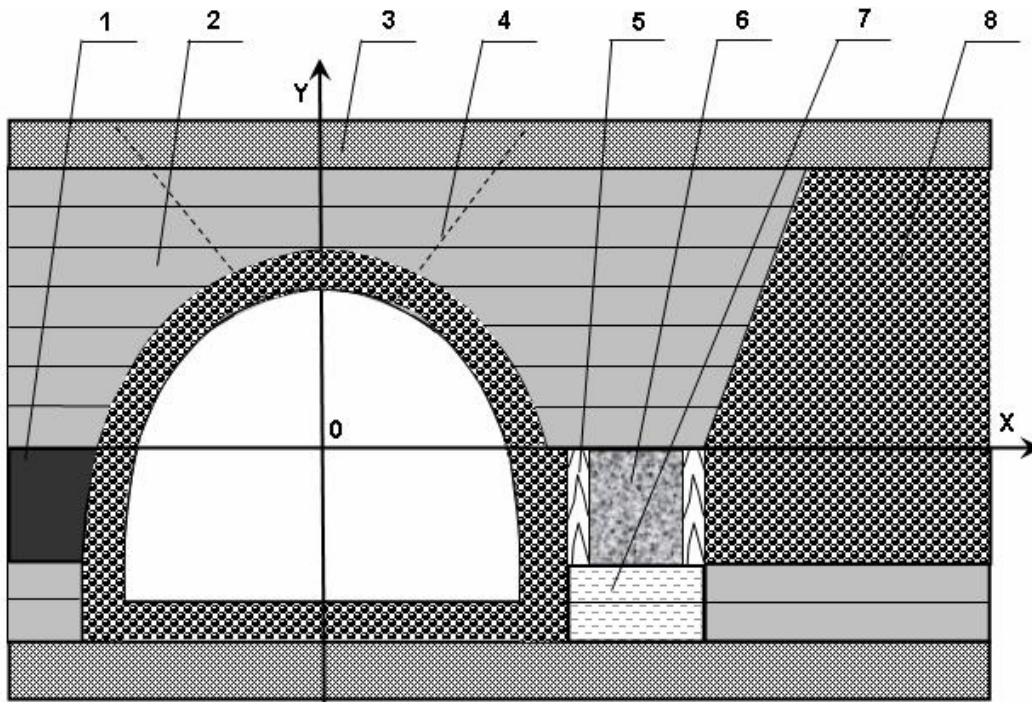
на нижней границе – полное сцепление с абсолютно жестким основанием $U_x = 0$ и $U_y = 0$.

Предполагается отсутствие сцепления между породными слоями.

Рассмотрено два варианта модели, отличающиеся конструкцией литой полосы. В базовом варианте она выполнена одинарной, с размещением заливочной емкости между двумя одинарными рядами органной крепи. По второму варианту в породном массиве между полосой и отработанным пространством сформирована ниша, ограниченная двухрядной органной крепью с перекрытием ниши деревянным брусом.

Центральная часть модели по первому (базовому) варианту представлена на рисунке 2. Влияние дискретно расположенной с определенным шагом металлокрепи заменено равномерно распределенной реакцией отпора. Для рамы расчет указанной реакции дает значение $R_1 = 0,05$ МПа. Аналогичный расчет для анкерной стяжной крепи приводит к величине распределенного сопротивления, действующего по выделенному штрихпунктирной линией (поз. 4) контуру $R_2 = 0,03$ МПа.

Система координат выбрана таким образом, чтобы вертикальная ось Y совпадала с осью симметрии выработки, а горизонтальная ось X проходила по границе угольного пласта. При этом начало системы координат оказывается примерно в центре выработки.



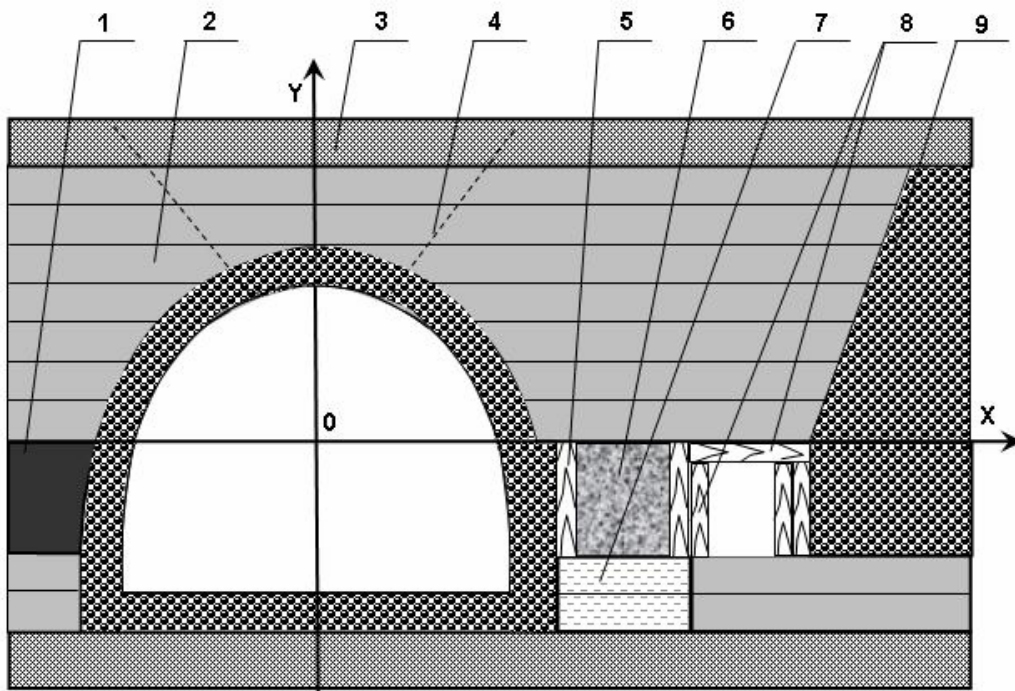
1 – уголь, 2 – алевролит, 3 – песчаник, 4 – контур зоны влияния анкерной стяжной крепи, 5 – органная крепь, 6 – твердеющий материал, 7 – влажный алевролит под полосой, 8 – зона разрушенных пород

Рис. 2. Центральная часть первого варианта модели

Угольный пласт 1 в расчетах принимается однородным и изотропным. Слоистость алевролита 2 учтена делением на отдельные слои толщиной 0,5 м, сцепление между которыми отсутствует. Песчаник 3 также считают однородной изотропной средой. Прочностные и деформационные свойства твердеющего материала 6 литой полосы принимаются по их значению через 28 суток после заливки смеси. Участок 7 алевролита в почве под литой полосой переувлажнен и обладает своим набором показателей физико-механических свойств. Зона 8 разрушенных пород также характеризуется своими особыми прочностными и деформационными характеристиками.

Центральная часть второго варианта модели представлена на рисунке 3.

Формально задачу решают в упругой постановке. Однако, для учета эффектов, возникающих в горных породах и строительных материалах при напряжениях, близких к пределу прочности, расчетная схема обладает рядом особенностей.



1 – уголь, 2 – алевролит, 3 – песчаник, 4 – контур зоны влияния анкерной стяжной крепи, 5 – органная крепь, 6 – твердеющий материал, 7 – влажный алевролит под полосой, 8 – деревянное крепление разгрузочной ниши, 9 – зона разрушенных пород

Рис. 3. Центральная часть второго варианта модели

Нелинейность зависимости между напряжением и деформацией учитывают путем ее аппроксимации кусочно-ломаной линией с индивидуальным набором формально упругих параметров на каждом из участков.

Второй особенностью является введение гистерезиса, который косвенным образом учитывает необратимое появление трещин в материале после завершения упругого участка деформирования. Он выглядит таким образом, что при разгрузке элемента среды (отрицательное приращение по отношению к предыдущему состоянию) возврат идет с первоначальными упругими параметрами (трещины не смыкаются обратно), а при положительном приращении напряжения возрастание деформации снова происходит с повторением участков аппроксимирующей ломаной.

Общий алгоритм вычислительного процесса, реализующий принцип необратимого накопления поврежденности в процессе разрушения материала осуществляется следующим образом. При

первом расчете определяют конечные элементы, для которых напряжения превзошли упругие, фиксируют уже достигнутую ими деформацию и метят их. В эту категорию автоматически входят элементы, расположенные в зоне разрушенных пород. При повторном расчете вследствие деформаций первоначальной модели возможно перераспределение поля напряжений, в том числе и снижение напряжений в отдельных меченых конечных элементах. В то же время могут возникнуть перенапряжения на других участках, в перечень "меченых" безвозвратно попадают новые элементы, для которых фиксируется деформация, приводящая к новой модели с измененным полем деформаций. Расчет выполняется для нее и так до тех пор, пока разница между количеством меченых элементов на n -ом и $n+1$ шаге будет незначительной. Проверка показала, что процесс является сходящимся.

Было выделено 5 градаций горизонтальных напряжений (табл. 1).

Таблица 1

Условные обозначения для диапазонов градаций
горизонтального напряжения

Номер градации	Диапазон напряжений МПа	Графическое обозначение
1	-12 - 0	
2	0 - 12	
3	12 - 24	
4	24 - 36	
5	38 - 48	

Распределение горизонтальных напряжений в центральной части базового варианта модели представлено на рисунке 4, а для варианта с разгрузочной нишей – на рисунке 5.

Диапазон изменения вертикальных сжимающих напряжений несколько иной, чем для горизонтальных, что обусловило изменение градаций (табл. 2).

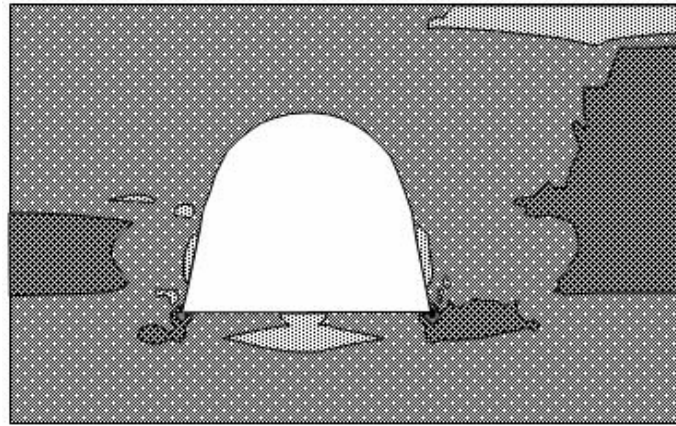


Рис. 4. Распределение горизонтальных напряжений в центральной части первого варианта модели

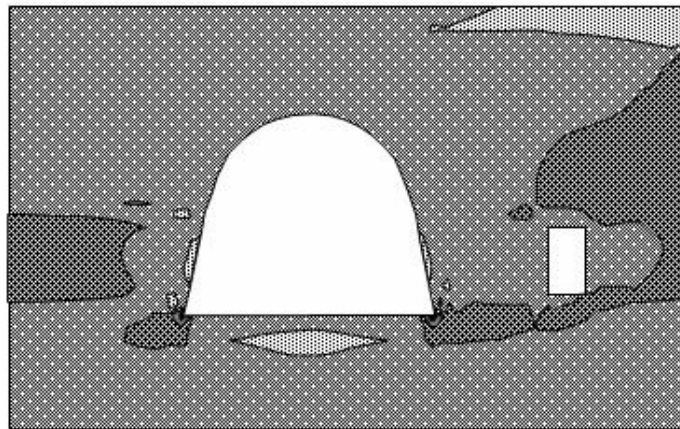


Рис. 5. Распределение горизонтальных напряжений в центральной части второго варианта модели

Таблица 2

Условные обозначения для градаций вертикального напряжения

Номер градации	Диапазон напряжений МПа	Графическое обозначение
1	0 - 13	
2	13 - 26	
3	26 - 39	
4	39 - 52	
5	52 - 65	

Распределение вертикальных напряжений в центральной части первого варианта модели представлено на рисунке 6, а второго – на рисунке 7.

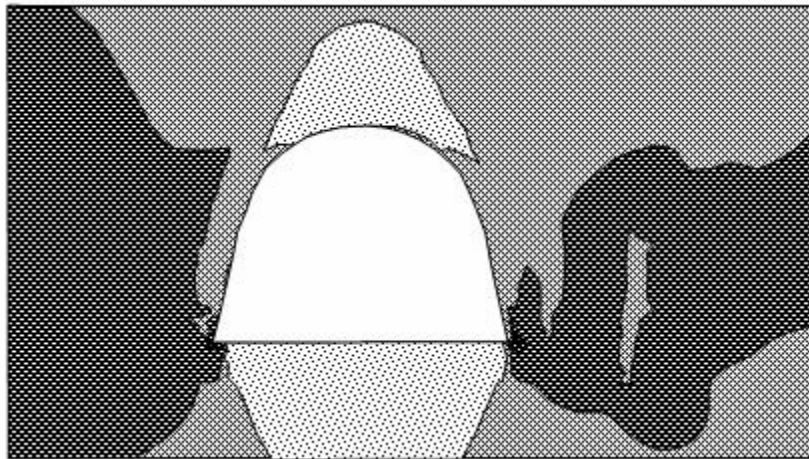


Рис. 6. Распределение вертикальных напряжений в центральной части первого варианта модели

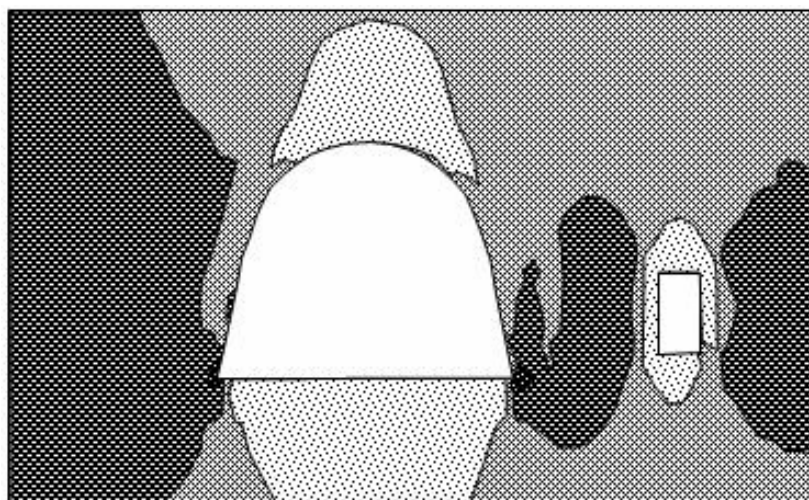


Рис. 7. Распределение вертикальных напряжений в центральной части второго варианта модели

Результаты математического моделирования показали, что изменение конструкции литой полосы практически не сказывается на распределении напряжений со стороны угольного целика, а ее влияние на распределение напряжений в своде и почве выработки незначительно.

Основные изменения в поле напряжений происходят со стороны отработанного пространства.

Наличие разгрузочной ниши привело к удалению зоны повышенных горизонтальных напряжений вглубь массива. Указанное обстоятельство улучшает работу комбинированной охранной системы по двум причинам. Первая причина связана с уменьшением вероятности опрокидывания литой полосы, что часто имеет место на практике при мощности угольного пласта свыше 2,0 м. Вторая причина – снижение горизонтальной составляющей горного давления на стойку рамной крепи со стороны выработанного пространства.

Сравнительный анализ вертикальных напряжений для обоих вариантов показал, что в случае использования разгрузочной ниши она разрывает зону повышенных напряжений на два участка – приближенный к контуру выработки и удаленный от нее. На ближнем участке расположена собственно литая полоса, которая выполняет только одну функцию – сопротивление действию вертикального сжимающего напряжения. Эффективная работа данного элемента конструкции позволяет частично разгрузить стойки органной крепи, оконтуривающие нишу. В свою очередь, осуществляя обламывание породной консоли на удалении от границы заливочной емкости, сдвоенный органной ряд способствует более равномерному распределению нагрузок на литую часть конструкции и дает возможность набрать прочность без перехода заливки в крупноблочное состояние. Кроме этого, сохранение непосредственной кровли пласта в ближней зоне выработки со стороны выработанного пространства повышает несущую способность анкеров, входящих в состав анкерной стяжной крепи.

Таким образом, проведенный анализ показал преимущества второго варианта с разгрузочной нишей.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Байсаров Л. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок [Текст] / Л. Байсаров, М. А. Ильяшов, А. И. Демченко. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005. – 240 с.

2. Кожушок О. Д. Совершенствование комбинированных охраняемых конструкций для поддержания повторно используемых выемочных штреков [Текст] / О. Д. Кожушок, С. В. Борщевский // Вісті Донецького гірничого інституту: ДНВЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 192-198.
3. Ткачев В. А. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях [Текст] / В. А. Ткачев, А. Ю. Компанейцев // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Ч. 1. – Новочеркасск: УПЦ «Набла», 2008. – С. 146 – 151.
4. Лангош У. Проектные основы управления горным давлением комбинированной крепью пластовых выработок [Текст] // Глюкауф. – 2002. – № 1. – С. 16-20.
5. Гайко Г. И. Опыт крепления горных выработок на шахтах Польши / Г. И. Гайко, Т. Майхерчик [Текст] // Уголь Украины. – 2002. – №1. – С. 51-53.
6. Штефан К. В. Арочные и замкнутые по почве системы крепления, средства охраны штреков со стороны выработанного пространства и укрепление пород [Текст] // Глюкауф. - 2004. - № 1. – С. 50-57.