

Д-р техн. наук Ю.М. Халимендик,  
канд. техн. наук А.В. Бруй,  
инженеры А.С. Барышников,  
Ю.А. Заболотная

(ГВУЗ «Национальный горный университет»)

## **УСИЛЕНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ИХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Наведені результати маркшейдерських спостережень за зміною стану підготовчих виробок та масиву гірських порід після проходження лави в умовах шахт Західного Донбасу. Сформовано модель деформування масиву гірських порід навколо гірничої виробки після проходження лави. Запропоновано графо-аналітичний метод визначення навантаження на кріплення підготовчої виробки, використовуючи який, можливо визначити необхідний відпір кріплення на сполученні лави з підготовчою виробкою. Аналітичні розрахунки можуть бути застосовані в умовах шахт Західного Донбасу.

## **INTENSIVITY SUPPORT OF PREPARATORY MAKING FOR THEIR REPEATED USE**

The results of surveying observations of changes in the conditions of gateroads and rock massif behind longwall face in the Western Donbass coal mines are presented. The model of rock massif deformation around gateroad behind longwall face is created. The graph-analytical method for determining the load on gateroad support, using which it is able to determine the requirement rebuff of support at the intersection of longwall with gateroad, is proposed. Analytical calculations could be used in mines in the Western Donbass.

Современной особенностью развития угольной промышленности Украины является интенсификация добычи угля. Отечественный и мировой опыт показывает, что именно это направление более всего обеспечивает повышение эффективности угледобывающего предприятия. Интенсивность очистных работ на приватизированных шахтах резко возросла и в большинстве случаев месячное подвигание очистного забоя превышает 100 м/мес.

При этом возникают проблемы связанные с возобновлением фронта очистных работ, внедрением прямоточного проветривания, дегазацией горного массива, доставкой материалов и т.д. Большая часть этих задач решается с помощью повторного использования выемочных выработок. В настоящее время в угольной отрасли Украины около 20% выработок используется повторно[1]. Отказ от повторного использования выемочных подготовительных выработок приводит к увеличению протяженности и стоимости выработок, необходимых для подготовки выемочного поля, и не позволяет из-за недостаточных темпов проведения подготовительных выработок осуществить своевременное воспроизводство фронта очистных работ. Учитывая постоянное усложнение горно-геологических условий, увеличение поперечного сечения выработок, их протяженности, рост глубины разработки, проблема поддержания протяженных выработок в устойчивом состоянии во время их эксплуатации приобретает особую актуальность[2].

Напряженно-деформированное состояние массива вокруг охраняемой выработки после очистных работ зависит от природных и горнотехнических факто-

ров, включающих: глубину ведения горных работ, прочностные свойства вмещающих пород и их нарушенность, отпор и конструкцию крепи и т.д. Учесть все факторы одновременно представляет собой сложную задачу. В этом случае необходимо сформировать обобщенную модель деформирования массива вокруг выемочной выработки с целью обоснования основных параметров крепи усиления.

Изучение состояния массива вокруг подготовительной выработки возможно с помощью натуральных наблюдений, которые дают наиболее достоверные результаты и позволяют параллельно совершенствовать технологические процессы.

Состояние охраняемых выработок было обследовано в 12 выработках угольных шахт Украины с различными способами заполнения выработанного пространства на сопряжении со штреком. Несмотря на небольшой объем мониторинга состояния выработок, видна зависимость между величиной вертикальной конвергенции в лаве на сопряжении со штреком  $\Delta h$  и вертикальной конвергенцией в охраняемой выработке после прохода лавы  $\Delta H$  (рис. 1). Аппроксимирующая прямая описывается линейной зависимостью:

$$\Delta H = 1,34 \cdot \Delta h + 0,32 \quad (1)$$

коэффициент корреляции составляет  $r = 0,93$ .

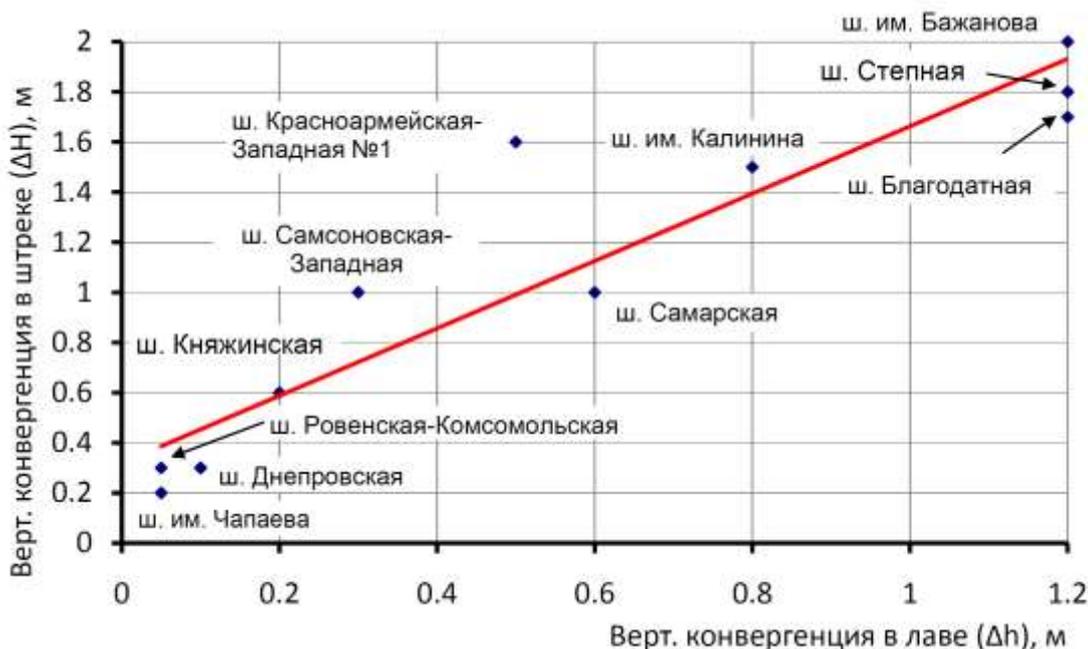


Рис. 1 - Зависимость вертикальной конвергенции в штреке от вертикальной конвергенции в лаве

В условиях шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» проводился мониторинг состояния выработок после прохода лав, по результатам которого выявлены зависимости вертикальной конвергенции от глубины ведения работ и вертикальной конвергенции от отпора крепи в штреке и охранной конструкции в

лаве (рис. 2, 3).

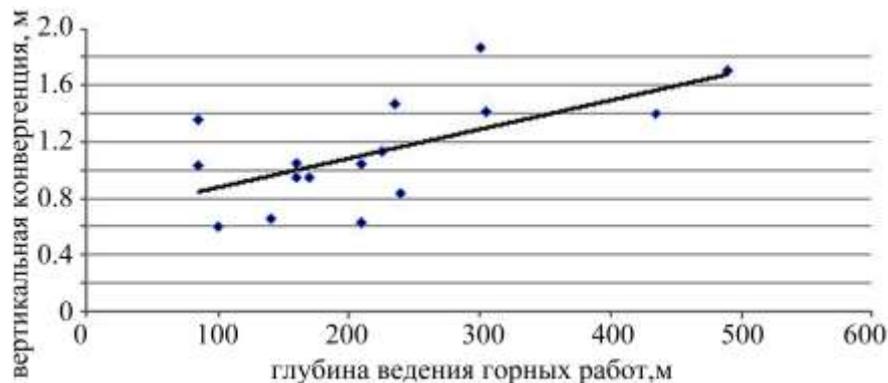


Рис. 2 - Зависимость вертикальной конвергенции выемочного штрека от глубины ведения работ

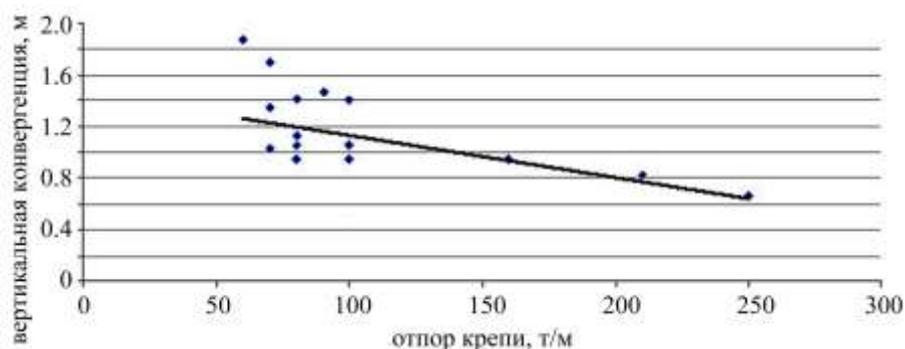


Рис. 3 - Зависимость вертикальной конвергенции выемочного штрека от суммарного отпора крепи в штреке и охранной конструкции в лаве

Зависимость вертикальной конвергенции ( $\Delta H$ ) выемочного штрека от глубины ведения горных работ ( $H$ ) описывается линейными уравнениями:

$$\Delta H = 0.002 \cdot H + 0.67 \quad (2)$$

с коэффициентом корреляции  $r = 0,63$ .

Зависимость вертикальной конвергенции ( $\Delta H$ ) выемочного штрека от суммарного отпора ( $P$ ) крепи штрека и охранной конструкции в лаве:

$$\Delta H = -0.003 \cdot P + 1.45 \quad (3)$$

с коэффициентом корреляции  $r = 0,51$ .

При суммарном значении коэффициента детерминации 0,66 на остальные влияющие факторы приходится 34 %.

Существенно влияет на величину конвергенции конструктивные особенности крепи краевой части лавы. Так наличие органного (обрезного) ряда у крайней секции значительно снижает величину конвергенции выработки в сравнении с выкладкой деревянных «костров».

Приведенные зависимости позволяют утверждать, что для эффективного поддержания выработок необходимо введение, в качестве критерия, понятия «необходимый отпор крепи», в соответствии с которым будет устанавливаться

крепь усиления на сопряжении штрека с лавой и после прохода очистного забоя. Для обоснования величин, влияющих на предлагаемый критерий, были выполнены комплексные наблюдения за состоянием породного массива в условиях шахт Западного Донбасса, которые заключались в обследовании краевых частей лав и наблюдениях за смещениями пород кровли подготовительных выработок до и после прохода очистного забоя при помощи контурных и глубинных реперных станций.

При перемещении опорного давления вглубь массива вокруг очистной выработки образуется зона неупругих деформаций, которая характеризуется высотой и шириной нарушенного горного массива. При проведении подготовительных выработок вприсечку или ведении очистных работ в соседней лаве прослеживаются системы вертикальных трещин. Для шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» установлена зависимость ширины зоны наличия техногенных трещин ( $L$ ) от глубины ведения горных работ ( $H$ ):

$$L = 0,03 \cdot H + 1,8 \quad (4)$$

с коэффициентом корреляции  $r = 0,89$ .

Пример техногенных нарушений приведен на рис. 4.



Рис. 4 - Техногенные нарушения в 854-й лаве шахты «Западно-Донбасская».

Известно, что в лаве непосредственная кровля полностью или частично разрушается на величину до  $5t$  (где  $t$  – вынимаемая мощность), начиная с груди забоя, и хорошо обрушается за секциями крепи, подбучивая непосредственную кровлю и верхние слои основной кровли. Основная кровля при опускании разрушается путем изгиба с первоначальным разделением межслоевых связей, а выше без разрыва сплошности массива. Это хорошо наблюдалось при отработке пласта  $C_8^6$  шахты «Западно-Донбасская» в восходящем порядке, где величина междупластья составила около 6 м [3]. Этот процесс продолжается и над подготовительной выработкой.

Для определения высоты нарушенности пород в условиях шахты «Самар-

ская» исследованиями кафедры маркшейдерии НГУ установлено наличие нейтрального слоя в кровле выработки [4]. Указано, что положение этого слоя (точки смены знака деформаций) составляет 6,5 м.

В условиях ПСП «Шахта «Степная» в 165-м сборном штреке 163 лавы на шести сечениях произведены маркшейдерские наблюдения за смещениями пород кровли подготовительной выработки после прохода очистного забоя при помощи контурных и глубинных реперных станций. Вертикальные деформации массива  $\varepsilon$  вычислялись для середин интервалов по формуле:

$$\varepsilon_{n-(n+1)} = \frac{n_{n'-(n+1)'} - n_{n-(n+1)}}{n_{n-(n+1)}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где:  $n_{n-(n+1)}$  – расстояние между соседними реперами в момент заложения;  $n_{n'-(n+1)'}$  – расстояние между соседними реперами после очередного подвигания лавы.

Анализ вертикальных деформаций пород кровли, полученных при помощи измерений на глубинных реперных станциях, позволил установить, что растяжения массива происходят до глубины 7,0 м, а сжатия – выше 7,0 м (рис. 5).

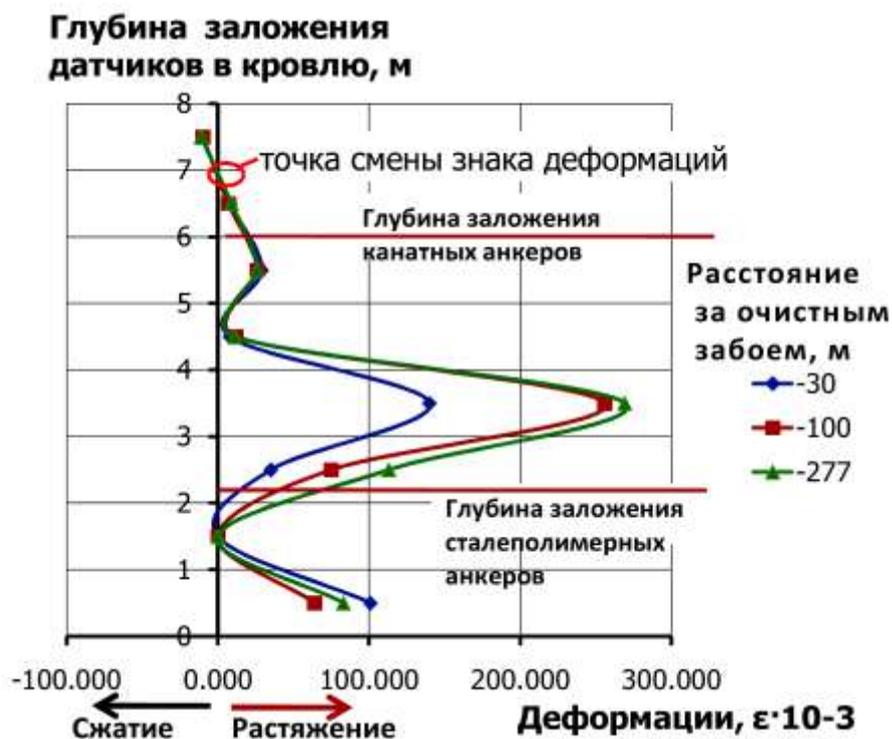


Рис. 5 - Деформации массива пород кровли выработки после прохода лавы

Геометрическое нивелирование позволило установить равномерное опускание глубинных реперов до величины 0,2 м на глубине от 6 до 9 м на и внедренные стоек крепи в почву (рис. 6).

На основании проведенных наблюдений разработана модель деформирования массива горных пород и предложен графоаналитический способ для расчета объема пород в зоне дезинтеграции, формирующего нагрузку на все элементы крепи выработки и охранной конструкции лавы.

Изложение этого способа произведем на примере расчета нагрузки на крепь для условий 165-го сборного штрека 163 лавы ПСП «Шахта «Степная»:

1) ширина зоны трещин  $L$  рассчитывается по формуле (4):

$$L = 0,03 \cdot 400 + 1,8 = 14 \text{ м};$$

2) вычерчивается в масштабе горная выработка и пласт (рис. 7). Через точку установки обрезного ряда (точка  $U$  на рис. 7) проводится вертикальная линия;

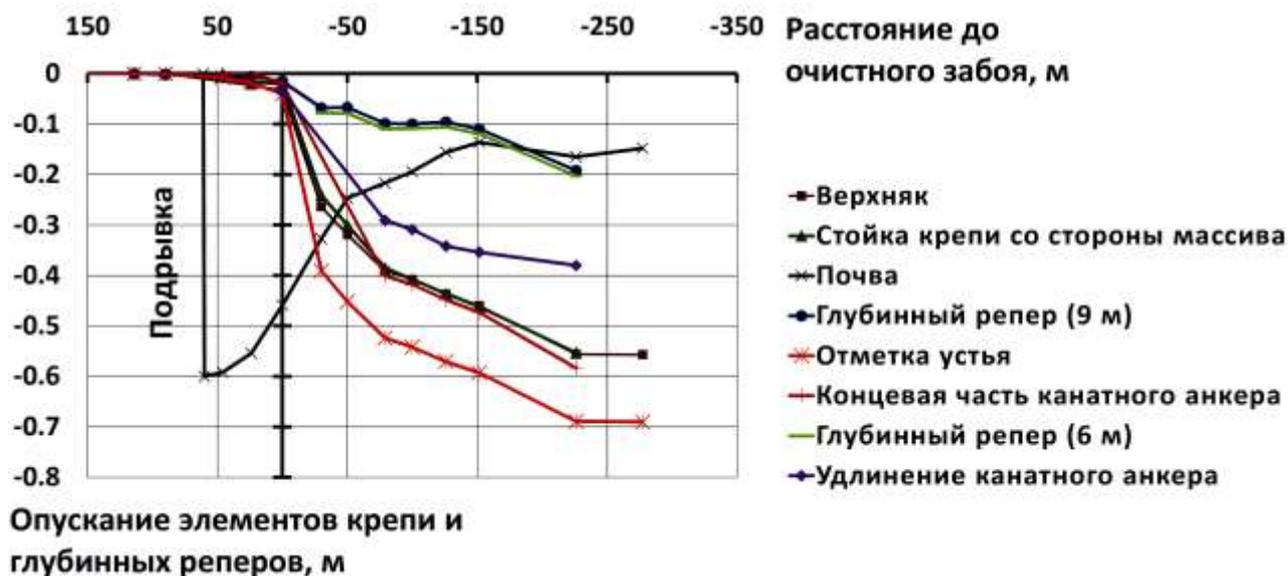


Рис. 6 - Опускание элементов крепи и глубинных реперов в зависимости от расстояния до очистного забоя

3) от точки  $W$  по линии кровли пласта откладывается значение  $L$  и проводится вертикальная линия (точка  $P$  на рис. 7);

4) известно, что при предельных значениях напряжений

$$\sigma_3 < \sigma_2 \leq \sigma_1 \quad (7)$$

где:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные компоненты тензора напряжений, возникновение трещин в породных образцах при испытаниях на прочность происходит по площадкам скольжений, аналогично разрушению горных пород в массиве[5]. Плоскость площадки скольжения расположена под углом  $\beta$  от направления главного напряжения  $\sigma_1$ , который можно вычислить по формуле:

$$\beta = 45 - \rho/2 \quad (8)$$

где:  $\rho$  – угол внутреннего трения породы.

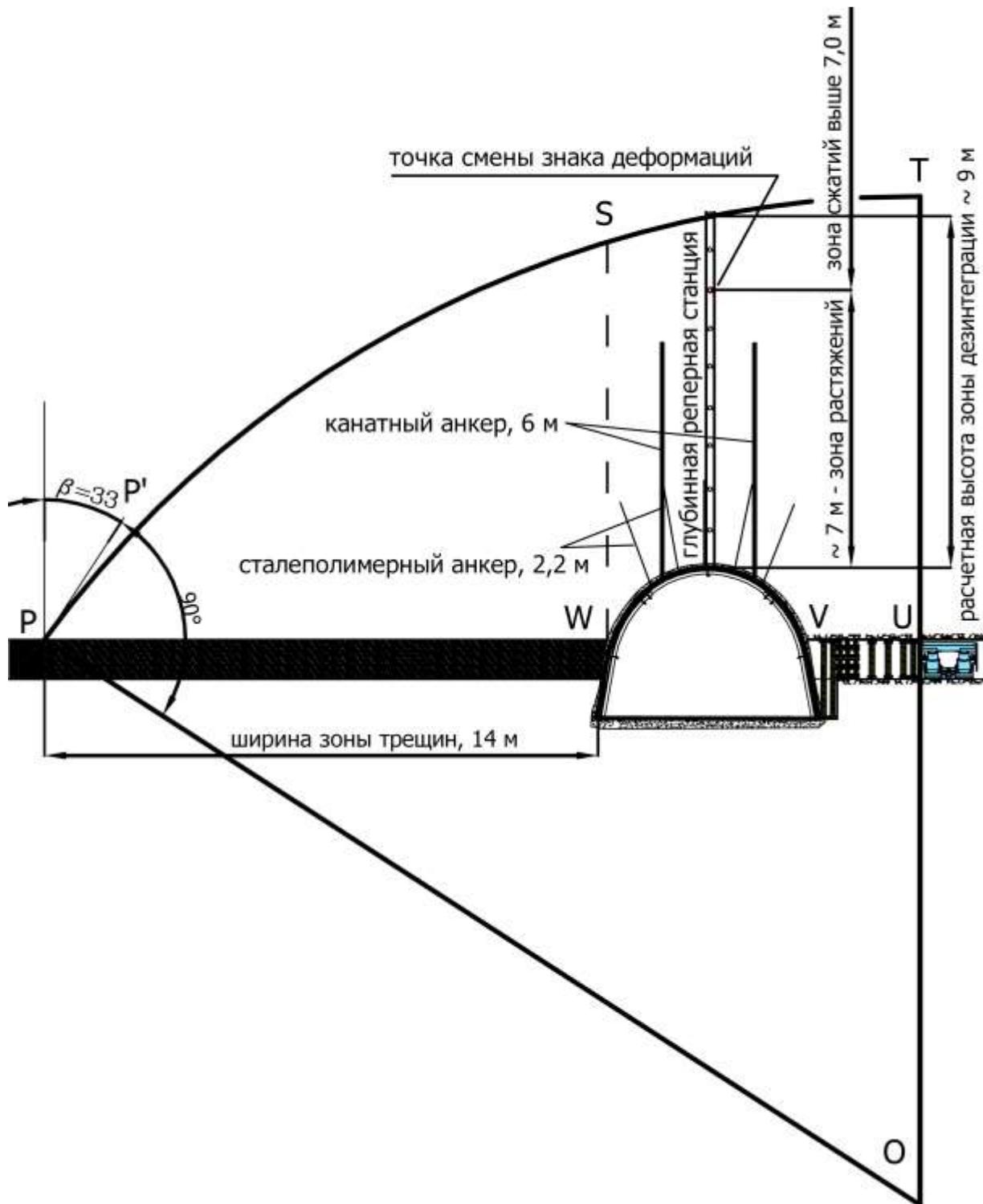


Рис. 7. - Схема к расчету нагрузки на крепь охраняемой выработки

Правомерность использования угла внутреннего трения пород в задачах геомеханики детально изучена в [6], и предложена формула (9). Для условий 165 штрека:

$$\rho = \arctg \frac{1 - \psi}{2 \cdot \sqrt{\psi + (1 - \psi) \frac{2\gamma H}{\sigma_{сж}}}} = 25^\circ \quad (9)$$

где  $\gamma$  – объемный вес покрывающей толщи,  $\gamma=2,5 \text{ т/м}^3=0,025 \text{ МН/м}^3$ ;  $H$  – глубина залегания пород, 400 м;  $\psi$  – коэффициент хрупкости.

Принимаем  $\psi = 0,1$ ;  $\sigma_{сж}$  – прочность пород кровли на одноосное сжатие, 20 МПа. Тогда  $\beta = 45 - 25/2 = 33^\circ$ . Принимаем для точки Р направление главного сжимающего напряжения  $\sigma_1$  как перпендикулярное пласту и откладываем угол  $\beta$  в сторону выработанного пространства. Получаем линию РР'. После из Р проводится перпендикуляр к линии РР', образованной углом, до пересечения с вертикальной линией, проведенной из U. На пересечении получаем точку О. Принимая, что верхняя граница прогнозируемой зоны разрушения в кровле имеет дугообразную форму с выпуклостью вверх, можно ее принять за окружность. Отрезок РО является радиусом для проведения дуги из точки Р до пересечения с вертикалью, проведенной из U. На пересечении получаем точку Т;

5) учитывая, что дезинтеграция горного массива в окрестности охраняемой выработки в условиях Западного Донбасса происходит в виде вертикальных трещин [7], объем пород действующих на крепь ограничивается зоной STUVW (рис. 7). Площадь этой зоны определяется графически:

$$S = 78.5 \text{ м}^2 ;$$

б) объем пород Q, приходящийся на 1 м. п. выработки численно равен определенной площади S. Имея нагрузку на крепь, мы можем проектировать отпор крепи, который равен или превышает эту величину;

7) после определения объема пород в дезинтеграционной зоне, определяем необходимый суммарный отпор Р крепи из условия:

$$P \geq 2 \cdot Q \cdot \gamma \quad (10)$$

где: 2 – коэффициент динамичности [8]. В настоящее время этот коэффициент введен в нормативный документ [9].

Противодействовать опусканию нарушенных пород только с помощью крепи и мер усиления в сечении охраняемой выработки невозможно. Поэтому на сопряжении лавы со штреком производятся работы по предотвращению опускания пород кровли по линии UV (рис. 7).

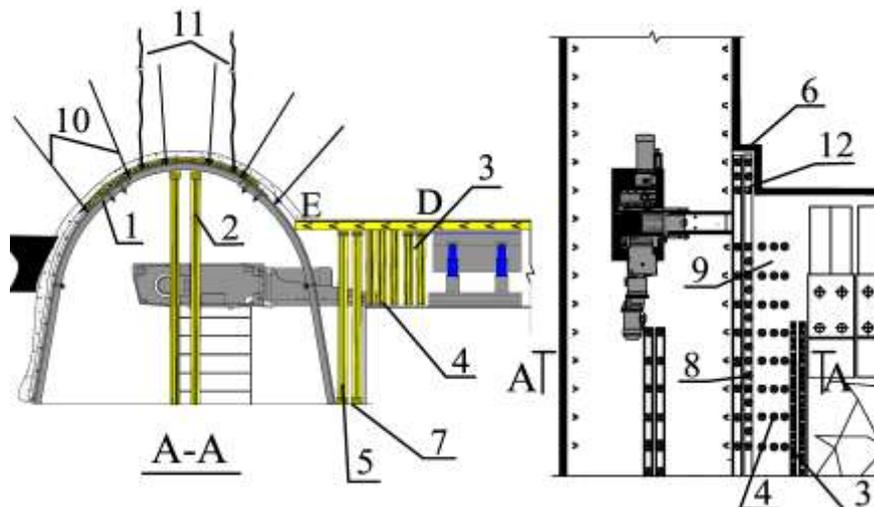
Тогда суммарный отпор крепи Р по линии WVU для условий 165-го сборного штрека должен составлять:

$$P \geq 2 \cdot 78.5 \cdot 2.5 = 392.5 \text{ т/м.п.}$$

Достоверность и эффективность предложенного способа подтверждается результатами натуральных измерений на глубинных реперных наблюдательных станциях. Высота зоны дезинтеграции породных слоев над штреком составляет 7 м (рис. 5, 7), а определенная графоаналитическим способом – 9 м (рис. 7). Такое расхождение объясняется погрешностями определения величин L и  $\rho$ , а также качеством крепления выработанного пространства UV после прохода лавы.

Расхождение объема пород, определенного по данному способу ( $78,5 \text{ м}^3$ ) с объемом, определенным в натуре ( $63 \text{ м}^3$ ), составляет  $\approx 25\%$ , что обеспечивает некоторый запас прочности.

Исходя из всего вышеизложенного, сформирована и приведена идеализированная схема крепления краевой части лавы шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» (рис. 8).



1 – арочная крепь; 2 – стойки усиления в сечении выработки; 3 – органичные ряды вдоль последней секции («обрезной ряд»); 4 – органичный ряд в плоскости арки; 5 – стойки усиления в «присечке»; 6 – «присечка» впереди лавы; 7 – штроба по почве; 8 – дополнительная стойка в штробе; 9 – пространство между стойками; 10 – сталеполимерный анкер, длина 2,2 м; 11 – канатный анкер; 12 – гидростойка.

Рис. 8 - Идеализированная схема крепления краевой части лавы шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Формирование опорного давления около штрека интенсифицируется после перемещения секций. Поэтому параллельно последней секции необходимо устанавливать не менее двух рядов органичной крепи («обрезной ряд» 3, рис. 8). Несущую способность этих стоек можно оценить их количеством и диаметром. Допуская, что эти ряды при опускании основной кровли будут разрушены, отпор их должен быть сопоставим с весом пород в блоке *STUVW* (рис. 7). Краевая часть в лаве нарушена от неупругих деформаций, образовавшихся вокруг выемочной выработки, поэтому «обрезные» ряды должны устанавливаться вне этой зоны. После перемещения повышенного горного давления в массив, крепь 1 и стойки усиления 2 (рис. 8) не могут сопротивляться давлению пород, а расстояние между обрезным рядом и аркой может привести к смещению пород и образованию свода обрушения. Установка стоек в дезинтегрированной зоне вокруг штрека приведет их к вдавливанию в почву. Поэтому в краевой части должна разрабатываться «присечка» 6 шириной не менее двух диаметров стоек, и устанавливаться дополнительные ремонтники 5 (рис. 8). Внедрение способа усиления крепи сопряжения лавы со сборным штреком на базе канатных сталеполимерных анкеров обеспечивает необходимый отпор крепи с потерей сечения выработки около 20% и сохранением её для повторного использования. Длина канатных анкеров должна обеспечивать их закрепление выше нейтрального слоя.

## Выводы

1. На базе натуральных наблюдений разработана модель деформирования горных пород и предложен графоаналитический способ определения нагрузки на крепь подготовительной выработки после прохода лавы в условиях шахт ПАО ДТЭК «Павлоградуголь»

2. Сформирована идеализированная схема крепления краевой части лавы для шахт ПАО ДТЭК «Павлоградуголь».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатников А.А. Поддержание подготовительных выработок с использованием рамно-анкерного крепления / А.А. Булатников // Проблеми гірничої технології. – Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2010 р. – с. 82-86.
2. Зборщик М. П. Повторное использование участковых выработок – неотложная задача угольных шахт / М.П. Зборщик // Уголь Украины. – 2011. – №1.
3. Колоколов О.В. О порядке отработки весьма сближенных пластов в слабых вмещающих породах / О.В. Колоколов, Н.А. Лубенец, Ю.М. Халимендик // Уголь Украины, №1, 1994. – с. 10-13.
4. J. Khalymendyk. Substantiation of rope anchors length in the conditions of mines in the Western Donbas Coal Region / J. Khalymendyk, V. Chervatuk, S. Eremin. - Rockbolting and rock mechanics in mining. VGE Verlag GmbH, 2012. - p. 285-292.
5. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. - М.: «Недра», 1976. – 272 с.
6. Шашенко А. Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
7. Ларченко В.Г. Механизм сдвижения толщи горных пород над движущимся очистным забоем / В.Г. Ларченко // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1979. – №7. – с. 22-26.
8. Писаренко Г.С. Сопrotивление материалов. Учебник для ВУЗов / Г.С. Писаренко.– Киев: Вища школа, 1979. – 696 с.
9. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007. Мінвуглепром України. – К., 2007. – 113 с.

УДК 622.281.74.04:622.261

Инженер С.А Лещинский  
(ИГТМ НАН Украины)

## РАСЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ И ПОРОДНОГО МАССИВА

Розроблена кінцево-елементна модель взаємодії елементів анкерного кріплення із врахуванням нової інтерпретації контактної взаємодії. Проведена верифікація отриманої моделі із емпіричними даними стендових випробувань анкерної шайби. Наведена тестова модель анкерного кріплення в умовах навантаження. Отримана картина розподілу переміщень у тестовій моделі.

## CALCULATION OF SYNERGY OF THE ELEMENTS OF ANCHORING AND ROCK MASSIFE

The finite element model of the synergy of elements of anchoring taking into account of new interpretations of the contact interaction was developed. The verification of the resulting model with empirical data of test bench of anchor shime was done. The test model of anchoring under loading was given . The resulting pattern of distribution of displacements in the test model was obtained.

Обеспечение устойчивости закрепленной анкерами горной выработки достигается оптимальным функционированием всех составляющих анкерной крепи в конкретных горно-геологических условиях.

Одним из важнейших элементов анкерной крепи является шайба, норматив-