

*д.т.н., проф. Клишин Н.К.,  
к.т.н., доц. Склепович К.З.,  
ассистент Касьян С.И.,  
ассистент Кизияров О.Л.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

*Узагальнені статистичні дані про способи охорони виробок на шахтах Донбасу, досліджено напружено-деформований стан масивів порід і проаналізовані зміни зусиль в анкерах.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Для обеспечения безопасности и эффективности очистных работ по добычи угля на участках ложной, неустойчивой кровли, в местах геологических нарушений, на сопряжениях лав с выработками, т.е. в сложных горно-геологических условиях, упрочняют кровлю угольного пласта нагнетанием составов, химическим анкерованием, набрызгом составов на поверхности вывалов.

Объем упрочнения особенно составами, на порядок меньше необходимого. Причины: высокая цена (25000 грн/т) полиуретановых составов; большие затраты на выполнение работ. Проблема заключается в том, что на практике используются рекомендованные нормативными документами параметры технологий упрочнения, назначенные на организационной основе, без учета свойств упрочняемых массивов, места работ, взаимодействия во времени и в пространстве пород и составов. Это приводит к завышенному расходу составов, непроизводительным затратам на бурение шпуров и нагнетание составов.

Геомеханическое обеспечение очистных работ в сложных условиях содержит следующие элементы:

- определение параметров свойств массива (проницаемости, пустотности, деформации) на месте производства работ;
- прогнозировании параметров взаимодействия упрочненных пород и отверждающихся составов (подбор состава для упрочнения, определение его деформации, прочности, времени отверждения);
- определение параметров упрочнения (длины шпуров, расстояния между ними, глубины герметизации, расхода состава);

- упрочнение массива;
- наблюдение за состоянием измененной природотехнической системы;
- оценка эффективности упрочнения.

Оперативный контроль состояния массива пород и определение параметров технологии упрочнения разработаны на основании результатов длительных, трудоемких шахтных, лабораторных и аналитических исследований, проанализированных ниже.

#### **Анализ исследований и публикаций.**

Свойства массива пород применительно к упрочнению натурным методом в основном изучены ДонГТУ, начиная с 1975 года. В работах А.А. Ефименко дано первое обобщение исследований трещиноватости, проницаемости кровли угольных пластов на сопряжениях лав с откачными выработками, установлены эмпирические зависимости интенсивности трещиноватости кровли от предела прочности пород на растяжение, трещинной воздухопроницаемости от прочности пород, длины шпура от интенсивности сейсмоакустического сигнала, проходящего через массив от резца, разрушающего породу при бурении шпура [1]. Результаты исследований положены в основу метода прогноза параметров массива и параметров технологии оперативного упрочнения кровли впереди лавы.

Во второй комплексной научно-исследовательской работе были установлены особенности проницаемости пород на протяженных участках лав [2]. Было установлено, что для одинаковых условий проницаемости пород в 1,6 раз меньше чем на концевых участках лав, где под влиянием длительного воздействия горного давления вокруг подготовительной выработки особенно в передней зоне опорного давления происходит разрушение пород.

Геомеханические основы системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли в очистных забоях разработаны Н.К. Клишиным [3]. Установлены зависимости коэффициента проницаемости кровли от прочности пород на растяжение, изменение коэффициента проницаемости в глубь массива, анизотропия проницаемости пород; параметры скрепляющего слоя набрызгом, как основы автоматизированной системы контроля состояния и упрочнения кровли в лаве.

В работах К.З. Склеповича [4] исследована зависимость проницаемости пород в зависимости от расстояния до забоя лавы и разработана технология предварительного упрочнения кровли на расстоянии от 30,0 до 2,0 м впереди лавы. Исследованы деформации пород в шахтных условиях, напряженно-деформированное состояние кровли впереди лавы на концевых участках.

Дальнейшие исследования направлены на разработку комбинированной технологии упрочнения кровли в лавах, обоснование параметров технологии упрочнения на сопряжениях лав с вентиляционными выработками, особенно с повторно используемыми выработками, испытывающими влияние двух лав.

**Постановка задачи.**

*Цель работы* – определить параметры состояния кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками и параметры технологии упрочнения для обеспечения устойчивости кровли.

*Объект исследования* – технология физико-химического упрочнения пород.

*Предмет исследования* – свойства кровли на протяженных участках лав и на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками.

Метод исследования комплексный, включающий натурный, лабораторный и аналитический методы.

*Задачи:*

- обобщить статистические данные о способах охраны выработок на шахтах Донбасса;
- исследовать деформации кровли в лавах;
- исследовать напряженно-деформированное состояние массивов, упрочненных различными способами.

**Изложение материала и его результаты.**

Результаты обработки статических данных о способах охраны примыкающих к лавам выработок на шахтах Донбасса представлены в таблице 1.

В связи с увеличением глубины разработки, сложностью охраны выработок для повторного использования в последние годы увеличилось количество выработок, для охраны которых применяют технологические целики угля шириной 4 – 8 м.

Использование естественной опоры оформляемой впереди лавы и более жесткой, чем искусственные ограждения, усложнило работу на концевых участках лав и не сняло проблемы охраны выработок и обеспечения устойчивости кровли на концевых участках лав.

Технологические целики под вентиляционными выработками оставляют для поддержания сильно разрушенной кровли в окрестности повторно используемой в качестве вентиляционной выработки. В этом случае опасность представляют обрушение кровли при проведении печей между лавой и выработкой.

Таблица 1 – Способы охраны примыкающих к лавам выработок на шахтах северной и восточной частей Донбасса

Государственные предприятия	Общая протяженность, м	1 способ (погашаются вслед за лавой)		2 способ (охраняются искусств. сооруж., техн. целиками)		3 способ (проводятся вприсечку)		4 способ (оформленные выработки позади забоя лавы)	
		м	%	м	%	м	%	м	%
Ровенькиантрацит	27800	11650	41.9	13535	48.7	0	0	2615	9.4
Свердловантрацит	27380	8990	32.8	10415	38	1750	6.4	6225	22.7
Донбассантрацит	16520	9110	55.1	5260	31.8	0	0	2150	13
Луганскуголь	36800	13910	37.8	17190	46.7	0	0	5700	15.5
Лисичанскуголь	4180	2180	52.2	0	0	2000	47.8	0	0
Первомайскуголь	8000	0	0	3800	47.5	0	0	4200	52.5
Антрацит	6522	2361	36.2	3761	57.7	0	0	400	6.1
ДУЭК	37700	10550	28	23800	63.1	3350	8.9	0	0
Итого	164902	58751	35.6	77761	47.2	7100	4.3	21290	12.9

Вентиляционные выработки:

- повторно используются – 24,7 %;
- погашаются за лавой – 54 %;
- проводятся за лавой – 16,7 %;
- проводятся вприсечку – 4,6 %.

Транспортные выработки, которые используются в качестве вентиляционных 27,5 %, из них охраняются целиками 21,8 % и искусственными ограждениями 5,56 %.

Для этой группы вентиляционных выработок изучено напряженно-деформированное состояние массива.

Напряженно-деформированное состояние участка массива ниже вентиляционной выработки исследовано методом конечных элементов на моделях, каждая из которых состоит состоящих из 100000 объёмных элементов, и представляет собой горный массив, в котором проведена подготовительная выработка, поддерживаемая после прохода первой лавы в качестве вентиляционной для второй лавы. Размеры элементов модели вблизи второй лавы составили 0,2 м.

Были решены 5 задач:

- 1 задача – горный массив без трещин и без анкеров;

2 задача – трещиноватый горный массив с трещинами 2 мм вдоль выработки, без анкеров;

3 задача – трещиноватый горный массив с трещинами 2 мм вдоль выработки и с двумя рядами анкеров из выработки над угольным пластом, с шагом установки анкеров 1 м;

4 задача – трещиноватый горный массив с трещинами 2 мм вдоль выработки и с двумя рядами анкеров из выработки над угольным пластом, с шагом установки анкеров 0,4 – 0,6 м;

5 задача – трещиноватый горный массив с трещинами 2 мм вдоль выработки и с двумя рядами анкеров из выработки над угольным пластом, с шагом установки анкеров 1 м и заполнением трещин карбамидными составами ( $E=200$  МПа).

На рисунке 1 выделяются участки массива вокруг анкеров, на которых растягивающие эквивалентные напряжения меньше на 18 – 30 %, по сравнению с напряжениями в массиве до установки анкеров, т.е. зоны влияния анкеров, которые составляют 0,35 м по длине выработки.

В области нижнего анкера на расстоянии 0,06 м от выработки характер изменения напряжений одинаковый, и все напряжения растягивающие, что вызвано обнаженной поверхностью выработки. На расстоянии 0,52 м от выработки в модели без трещин эквивалентные напряжения растягивающие, с максимальным его значением до 1 МПа, а при моделировании трещин напряжения возрастают до величины 5 – 9 МПа. При установке анкеров через 1 м и через 0,4 – 0,6 м эквивалентные напряжения одинаковые и составляют от 7 до 10 МПа в зависимости от расстояния до лавы. Распределение же эквивалентных напряжений различно (рисунок 1).

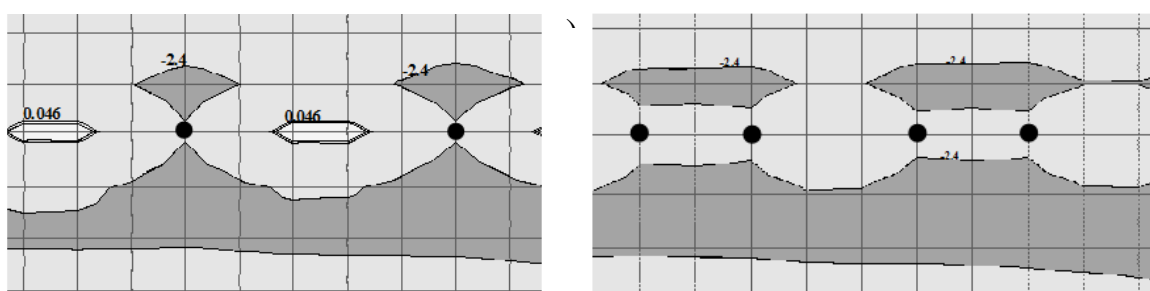


Рисунок 1 – Изополя эквивалентных напряжений впереди лавы упрочненного массива анкерами а) через 1 м; б) через 0,4 – 0,6 м у выработки

При расстоянии между анкерами 1 м в массиве имеются участки, где действуют растягивающие напряжения. В зависимости от соотношения высоты слоя и расстояния между трещинами в кровле образуются трехшарнирные арки и даже составные трехшарнирные арки для рассматриваемой области устойчивости при соотношениях  $h/l > 0,75$ . Та-

кое отношение имеет место при всех категориях устойчивости нижнего слоя кровли при максимальной мощности слоя.

Аналогичная же картина и в области конечной части нижнего анкера.

В области верхнего анкера на расстоянии 0,12 м от выработки по мере приближения к очистному забою растягивающие напряжения во всех моделях незначительно растут на 15 – 20 % и составляют у лавы от 1,7 МПа при анкерровании через 1 м, до 4 в исходной модели. На уровне средней части верхнего анкера растягивающие эквивалентные напряжения в трещиноватом массиве и при анкерровании кровли увеличиваются с 3,0 – 3,3 МПа до 4,3 – 4,6 МПа по мере подхода лавы, а в исходной модели и при комбинированном упрочнении до расстояния 1 м от лавы напряжения были сжимающие (0,8 – 0,5 МПа), а на линии очистного забоя уже растягивающие (2,0 – 2,2 МПа), ну а на уровне окончания анкера, сжимающие напряжения во всех моделях переросли в растягивающие на расстоянии 1 м, и на линии очистного забоя составили 2,4 – 3,3 МПа.

Усилия в анкерах в окрестности повторно используемой выработки при шаге установке через 1 м и более частом анкерровании трещиноватой кровли не отличаются, поэтому на рисунках 2 – 3 представлены изменения усилий в нижнем и верхнем анкере при анкерровании через 1 м.

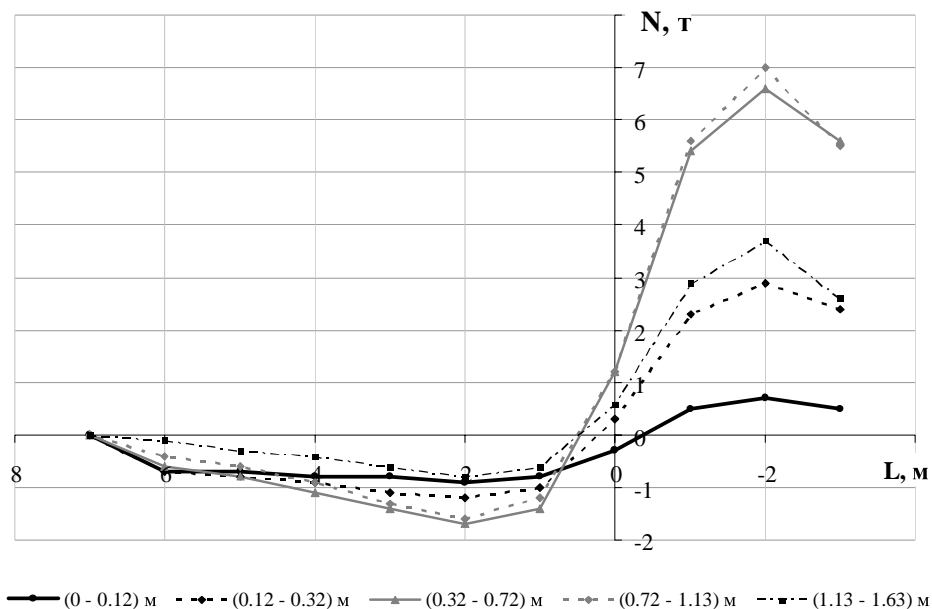


Рисунок 2 – Изменение усилий в нижнем анкере при анкерровании через 1 м

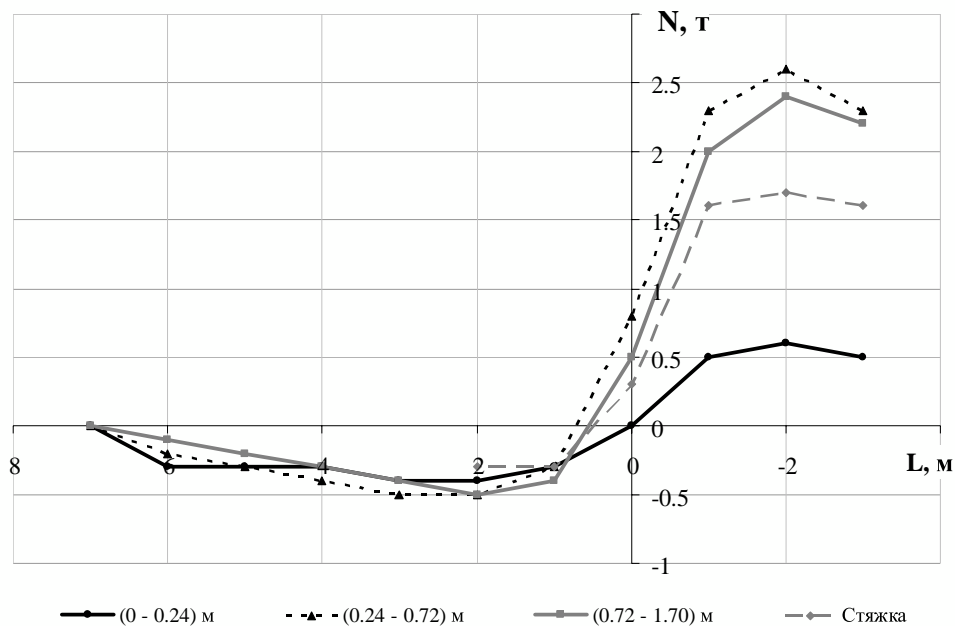


Рисунок 3 – Изменение усилий в верхнем анкере и в стяжке при анкеро-  
вании через 1 м

Максимальные усилия в анкерах сосредоточены над призабойным пространством лавы и достигают: в нижнем анкере от 0,7 т до 7,0 т; в верхнем – от 0,6 т до 2,6 т; в стяжке – 1,7 т. Причем максимальные значения в средней части анкера.

Возникновение сжимающих усилий в анкере впереди линии очистного забоя объясняется деформированием трещиноватого массива, т.е. сближением блоков. В непосредственной близости от забоя лавы, вследствие отжима пород в сторону выработки и лавы, эти усилия снижаются, а над призабойным пространством появляются растягивающие усилия. Такой механизм взаимодействия массива и анкеров, устанавливаемых на значительном расстоянии от лавы.

Авторами статьи предложена новая схема анкерования кровли [5]. Параметра анкерования приведены в статье [6]. Для удержания плиты и стяжки во время схватывания состава предусмотрен выступ, выполненный в виде клинового анкера с минимальной длиной 0,06 – 0,08 м.

#### **Выводы и направления дальнейших исследований:**

- в настоящее время на шахтах Донбасса транспортных выработок которые будут использоваться как вентиляционные 47,2 %, а выработок, которые уже используются повторно 27,5 %, из них охраняются целиками 21,8 % и искусственными ограждениями 5,56 %.

- расстояние между анкерами следует устанавливать с учетом места влияния анкера и расстояния между трещинами;

– усилия в анкерах сосредоточены над призабойным пространством лавы и достигают: в нижнем анкере от 0,7 т до 7,0 т; в верхнем – от 0,6 т до 2,6 т; в стяжке – 1,7 т, причем максимальные значения в средней части анкера.

Полученные результаты предлагается использовать при определении параметров анкеров и схем их расположения.

*Обобщены статистические данные о способах охраны выработок на шахтах Донбасса, исследовано напряженно-деформированное состояние массивов пород и проанализированы изменения усилий в анкерах.*

*Statistical data about the methods of guard of making on the mines of Donbassa are generalized, the tense-deformed state of arrays of breeds is explored and the changes of efforts in anchors are analyzed.*

#### **Библиографический список.**

1. Ефименко А.А. Исследование нарушенности и проницаемости пород кровли лав применительно к химическому способу упрочнения: автореф. дис. канд. техн. наук. / Ефименко Александр Александрович: КГМИ. – Днепропетровск, 1978. – 21 с.

2. Пятаченко А.А. Обоснование параметров технологии физико-химического упрочнения кровли на протяженных участках лав пологих пластов Донбасса: автореф. дис. канд. техн. наук. / Пятаченко Анатолий Архипович: Донецк, 2001. – 22 с.

3. Клишин Н.К. Геомеханические основы системы контроля состояния и параметров упрочнения кровли в очистных забоях: автореф. дис. докт. техн. наук. / Клишин Николай Кузьмич: Донецк, 1994. – 35 с.

4. Склепович К.З. Обоснование параметров технологии упрочнения пород на концевых участках лав: автореф. дис. канд. техн. наук. / Склепович Константин Зенонович: Днепропетровск, 2006. – 19 с.

5. Патент України 22615, МПК(2006) E 21 D 20/00. Спосіб зміцнення безпосередньої покрівлі від обвалювання. М.К. Клішин, С.І. Касьян, О.Л. Кізіяров, К.З. Склепович. № и200612763; Заявл. 04.12.2006; Опубл. 25.04.2007.

6. Н.К. Клишин, К.З. Склепович, С.И. Касьян, О.Л. Кизияров. Геомеханическое обоснование комбинированных технологий упрочнения кровли в лавах / Н.К. Клишин, К.З. Склепович, С.И. Касьян, О.Л. Кизияров // Сборник научных трудов ДГМИ. – Алчевск, 2007. – Вып. 23. – С. 32 – 38.

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Фрумкиным Р.А.*