

УДК 622.28.044

**С.В. ПОДКОПАЕВ** (докт. техн. наук, проф.)

**С.В. САХНО** (инженер)

Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ОБРУШЕНИЙ ПОРОД В ВЫРАБОТКАХ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

Одной из основных причин травматизма на угольных шахтах является обрушение горных пород в протяженных выработках. Традиционно речь идет о выработках, закрепленных рамной податливой арочной крепью. А одним из мероприятий по предотвращению вывалов является установка дополнительной анкерной крепи. Однако практика ведения горных работ показывает, что в выработках закрепленных рамно-анкерной крепью обрушения кровли не редкость.

С целью определения характера деформирования пород вокруг выработки, закрепленной анкерами, были проведены натурные наблюдения при помощи глубинных реперов на специально оборудованных замерных станциях, результаты которых приведены в статье. Описан механизм развития расслоений пород вокруг выработки и определены наиболее опасные участки.

**Ключевые слова:** анкерная крепь, смещения, горные породы, разрушение.

Анкерная крепь, как самостоятельный вид крепления, так и в сочетании с рамными крепями занимает надежные позиции в горнодобывающих отраслях многих стран [1-3]. Это вызвано высокой технологичностью, безопасностью и экономичностью этого вида крепи. В настоящее время технология анкерного крепления вызывает повышенный интерес также благодаря тому, что применение современных механизированных комплексов позволяет отрабатывать высоконагруженные лавы, месячное продвижение которых составляет 200-250 и более метров, что требует своевременной подготовки выемочных столбов. Обеспечить необходимые темпы проведения выработок можно за счет применения анкерных систем, как в самостоятельном виде, так и в сочетании с рамными конструкциями крепления.

Анкерными системами как самостоятельной крепью в Украине крепят выработки, не подверженные влиянию очистных работ [1]. В сочетании с рамными крепями анкера применяются для крепления подготовительных выработок. Отдельный интерес вызывают монтажные и демонтажные ходки и камеры. В выработках предприятий группы ДТЭК, ш/у Покровское, ш. им Засядько, ш. Краснолиманская накоплен огромный практический опыт эксплуатации анкерных систем. Практика ведения горных работ показывает, что в выработках закрепленных рамно-анкерной крепью обрушения кровли, хоть и реже чем в выработках с рамными крепями, все же имеют место.

По мнению авторов статьи, существует два случая обрушений пород, обращающие на себя внимание при применении анкерного крепления:

- обрушение заанкерванной части массива одним блоком, с отрывом его от пород кровли;

- вывалы пород из приконтурной части с обнажением части анкера (рис. 1).

Хоть эти проявления и наблюдаются в выработках подверженных значительным смещениям, они свидетельствуют о том, что породы в пределах заанкерванной области подвержены расслоению. Вопрос о том, в какой период времени происходит зарождение и развитие трещин и ослаблений, остается нерешенным. Его решение позволит уточнить механизм работы анкерной крепи, определить ее эффективность, рассчитать нагрузку на затяжку. Расслоение пород напрямую связано с вывалами, а соответственно определяет безопасность работ, особенно в выработках, где анкерные крепи являются единственным креплением. Определение характера деформирования пород вокруг выработки, закрепленной анкерной крепью, и является целью представленного исследования.

Инструментальными и теоретическими исследованиями в настоящее время доказано, что на величину смещений контура подготовительной выработки и нагрузки на крепь определяющее влияние оказывают размеры и интенсивность развития зоны неупругих деформаций (ЗНД). Изучению закономерностей образования и развития ЗНД посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых.



а)



б)

**Рис. 1.** Вывалы пород из приконтурной части конвейерного штрека ш/у Покровское  
вблизи анкера

а) в кровле штрека; б) в боку штрека

Основные результаты этих исследований следующие. Максимальные смещения пород по контуру выработки происходят в направлении перпендикулярном напластованию пород. Основная доля смещений в полость выработки вызвана увеличением объема пород при их разрушении. Размер зоны неупругих деформаций зависит от глубины заложения выработки, ее размеров и прочности вмещающих пород и составляет 2-9 м [4]. При отсутствии повторного

нарушения равновесного состояния 50-60 % всех смещений контура выработки происходит в первый месяц после проведения выработки, в дальнейшем скорость деформирования снижается. В выработках, закрепленных рамной крепью, смещения максимальны на контуре выработки, с увеличением расстояния от контура смещения затухают.

Подобных масштабных исследований, посвященных закономерностям расслоения пород, закрепленных анкерной крепью, пока не проводилось. Поэтому для установления закономерностей формирования и развития ЗНД вокруг выработки, закрепленной анкерной крепью, были проведены натурные шахтные наблюдения за деформациями приконтурных пород при помощи глубинных реперов на специально оборудованных замерных станциях.

Измерения производились в конвейерном штреке северной коренной лавы пл.  $k_8^H$  горизонта 450 м ш. «Добропольская».

Выработка предназначалась для бурошнековой выемки угля. Глубина заложения 462 м. Угол падения пород в пределах рассматриваемого участка составлял  $8^0$ . Мощность пласта изменялась от 0,63 до 0,7 м. Непосредственная кровля пласта - аргиллит темно-серый, мощностью 1,9 м, с пределом прочности на одноосное сжатие 27-29 МПа. Основная кровля пласта - алевролит темно-серый мощностью 7,2 м и пределом прочности на одноосное сжатие 30 МПа.

Непосредственно в почве залегал алевролит серый, в верхней части слоя «кучерявчик» слабослюдястый. Мощность слоя 2,4 м, предел прочности на одноосное сжатие 28-32 МПа. Ниже залегал песчаник светло-серый мощностью 3,5 м и пределом прочности на одноосное сжатие 32-37 МПа.

Штрек имел прямоугольную форму поперечного сечения. Высота выработки в проходке составляла 3,3 м, ширина 4,8 м.

Выработка длиной 270 м проводилась при помощи комбайна КПД. Средняя скорость подвигания подготовительного забоя 190 м/мес. При этом плотность установки анкеров –  $0,77 \text{ анк/м}^2$ . Анкеры длиной 2,4 м устанавливались под подхват, изготовленный из профиля СВП-22. Анкеры устанавливали в забое штрека. Закрепление стального анкера в шпуре производилось химическим способом.

Сооружение замерных станций производилось согласно методике ВНИМИ [5]. Замерные станции, оборудованные глубинными реперами, были установлены непосредственно в забое штрека. В выработке было установлено три глубинные станции (рис. 2). Первая станция – посередине сечения штрека в непосредственной близости от анкерного подхвата (ПК 132 между анкерами), вторая – между рядами анкеров посередине сечения штрека (ПК 131+9,5), третья – на расстоянии 10 см от второго кровельного анкера вдоль анкерного ряда (ПК 131+9, 1,2 м от бока выработки).

Каждая станция состояла из 8 глубинных реперов, установленных в кровле выработки. Конструкция замерной станции приведена на рисунке 3.

Для сооружения глубинной станции в кровле выработки вертикально вверх бурился шпур диаметром 27 мм длиной 4,4 м. В него при помощи досыльника помещались реперы 1. Репер (рис. 3б) представлял собой отрезок стальной трубы 5 длиной 40 мм, на который при помощи заклепок 7 с четырех сторон была прикреплена стальная полоса 6 для расклинивания его в шпуре. От каждого репера выводилась тяга из проволоки 2, на конце которой было закреплено кольцо 4 с номером репера. Расклинивание реперов производили перемещением их в сторону устья за тягу.

После расклинивания репера в шпур досылался следующий, и так до установки последнего репера. Затем в устье скважины устанавливался кондуктор 3 длиной 0,25 м, и проводился начальный замер расстояния от выступающей части кондуктора до кольца с номером репера. Натяжение тяги осуществлялось резиновой нитью с крючком из проволоки, который продевался в замерное кольцо. Противоположный конец нити был соединен с отвесом, расположенным на почве.

Смещения определялись по разности расстояний между кольцом и кондуктором при замерах. Измерения проводились с помощью рулетки ВНИМИ (погрешность измерения рулеткой  $\pm 0,5$  мм). Каждый замер повторялся трижды, за величину смещений принимали среднее арифметическое.



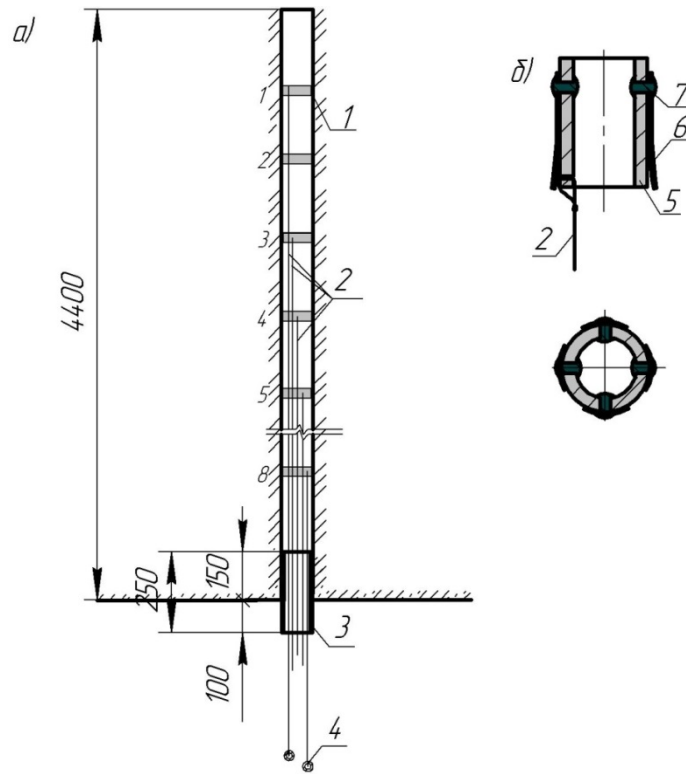
**Рис. 2.** Общий вид замерной станции №3

При обработке результатов натурных наблюдений за смещениями глубинных реперов на экспериментальном участке предполагалось, что репер №1, имеющий максимальную глубину заложения, неподвижен. Это допущение основано на том, что развитие зоны неупругих деформаций вокруг выработки не происходит мгновенно, а занимает некоторый промежуток времени. В статье приведены результаты замеров смещений произошедших в течение 14 суток, в последующий период 14-30 суток наблюдалась стабилизация скоростей сдвижений. Предполагалось, что зона неупругих деформаций, за этот период, не достигнет величины 4,2 м, что согласуется с исследованиями И.Л. Черняка [4].

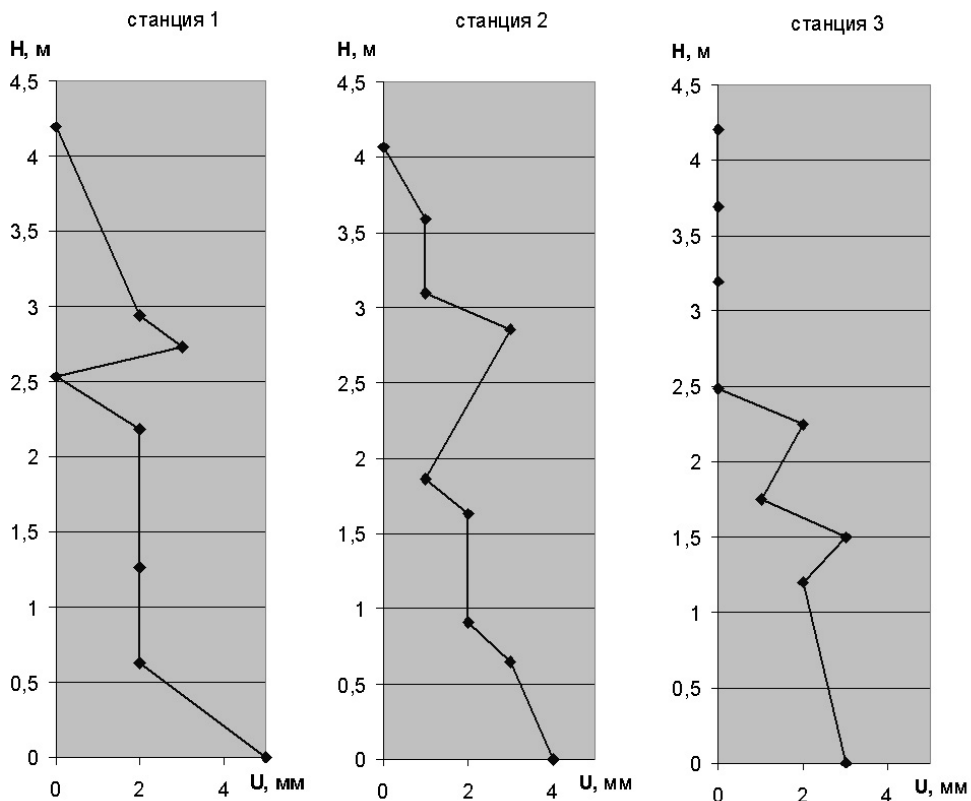
Для анализа динамики развития зоны разрушенных пород вокруг выработки, были построены графики деформаций пород с удалением от контура выработки (рис. 4) по результатам перемещения глубинных реперов.

Анализ графиков деформирования пород на экспериментальном участке показывает, что наибольшие смещения наблюдаются в центре выработки (станции 1 и 2). Уже на 14 сутки после проведения на расстоянии от контура 2,7 м (станции 1 и 2) породы расслаиваются, что фиксируется по смещениям относительно неподвижного репера 3 мм. На первой станции зафиксирована зона сжатия пород между реперами на 2,7 и 2,5 метра. В непосредственной близости от анкера (станция 1) породы смещаются единым блоком, что отмечается по реперам на глубине 2,2-0,6 м. Между рядами анкеров (станция 2) смещения примерно равномерно растут в направлении контура. Смещение контура через 14 суток по центру выработки (станции 1 и 2) составляют 4-5 мм, а станции 3 – 3 мм. По всем станциям приконтурный участок 0,6-0,8 м имеет наибольшие расслоения.

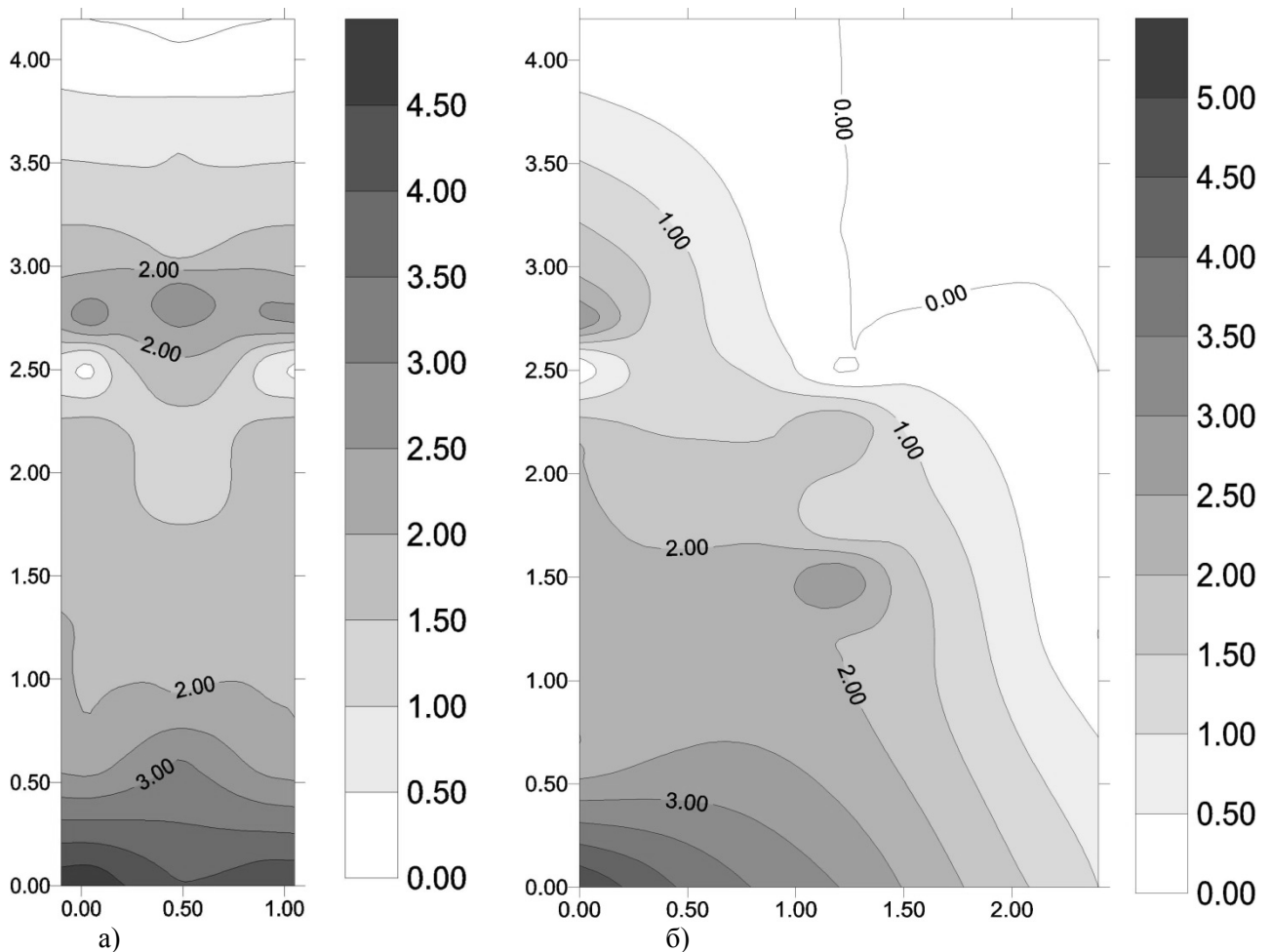
Наглядное представление о параметрах расслоения пород можно получить по изолиниям площадного распределения сдвижений, построенных с помощью пакета Surfer (рис. 5). При построении были приняты допущения, что вертикальные смещения на соседних анкерных рядах одинаковы, а на контуре выработки равны нулю.



**Рис. 3.** Схема замерной станции (а) и конструкция глубинного репера (б):  
 1 – глубинный репер; 2 – тяги глубинных реперов; 3 – кондуктор; 4 – замерное кольцо; 5 – отрезок стальной трубы; 6 – стальная полоса; 7 – заклепка



**Рис. 4.** Графики смещений глубинных реперов на экспериментальных участках через 14 суток после проведения выработки



**Рис. 5.** Изолинии распределения сдвижений глубинных реперов по станциям 1-2 (а) и станциям 2-3

По сути на рис. 5 а представлена характеристика смещений в продольном сечении штрека по центральной оси выработки, а на рис. 5 б – в его поперечном сечении. Из рис. 5а следует, что выше верхней точки крепления анкера наблюдается зона сжатия от перемещения пород в направлении контура на участке 3,0-2,6м. Про сути в этой области зарождается дефекты, которые при развитии деформаций могут привести к отслоению заанкерванной части от вышележащих пород. Участок пород на глубине 2,3-1,0м смещается без расширения, здесь анкерная крепь обеспечивает монолитность. Приконтурная область 0,45-0,5 м смещается на 3мм, на участке 1,0м – 2мм, что говорит о наличии на этом участке расслоения. Из рис. 5б следует, что вертикальные сдвижения как в глубине массива, так и на контуре максимальны в центральной части выработки. Опасным участком является средняя часть на расстоянии от оси 1,2 м.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие **выводы**.

Уже через 14 суток после проведения выработки в породном массиве зарождаются дефекты, которые впоследствии могут привести к обрушениям – за зоной крепления анкерной крепи и на контуре выработки.

Особенностью образования зоны разрушения вокруг горной выработки, закрепленной анкерной крепью, является то, что заанкерванный массив смещается без существенных расслоений на глубине 2,3-1,0м, а участок кровли на глубине между 0,5-1,0 м отслаивается от вышележащей части. Породы вокруг горной выработки, закрепленной анкерной крепью, испытывают деформации и растяжения и сжатия.

Во многом полученный результат объясняется образованием вокруг выработки зоны мгновенного разрушения вследствие упруго пластического восстановления пород в момент проведения, и соответственно перераспределение напряжений вокруг выработки, что приводит



к развитию фронта разрушения от контура выработки вглубь массива. После установки анкерной крепи эти процессы не прекращаются мгновенно, они продолжаются до момента образования несущей породно-анкерной конструкции.

При правильно выбранных параметрах анкерования образующаяся конструкция имеет более высокие прочностные характеристики, чем окружающий массив, что способствует сохранению ее сплошности. Однако необходимо понимать, что до этого момента породы в непосредственной близости от контура уже разрушены и от их вывала между рядами анкеров защищает лишь затяжка. Такие вывалы наиболее опасны в выработках, где анкера являются единственным видом крепи.

### **Библиографический список**

1. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов – Днепропетровск. : Вильпо, 2002. – 372 с.
2. Dolinar D.R. Trends in Roof Bolt Application / D.R. Dolinar, S.K. Bhatt / Proceedings, New Technology for Coal Mine Roof Support. (NIOSH) Publication No. 2000-151: IC 9453. – 2000. – pp. 43-52.
3. Hou CH, Guo LS, Guo PF. Bolt support in coal roadway. Beijing: China University of Mining and Technology Press; 1998.
4. Черняк, И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1993. – 256 с.
5. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. – Л.: ВНИМИ. – 1973. – 102 с.

*Надійшла до редакції 10.05.2015*

**С.В. Подкопаяев, С.В. Сахно**

Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ОБВАЛЕНЬ ПОРІД У ВИРОБКАХ, ЗАКРІПЛЕНИХ АНКЕРНИМ КРІПЛЕННЯМ**

Однією з основних причин травматизму на вугільних шахтах є обвалення гірських порід у підготовчих виробках. Традиційно йдеться про виробки, закріплені рамним податливим арочним кріпленням. А одним із заходів, щодо запобігання вивалам, є установка додаткового анкерного кріплення. Однак практика ведення гірських робіт показує, що у виробках закріплених рамно-анкерним кріпленням обвалення покрівлі не рідкість.

З метою визначення характеру деформування порід навколо виробки, закріпленої анкерами, були проведені натурні спостереження за допомогою глибинних реперів на спеціально обладнаних вимірювальних станціях, результати яких наведені в статті. Описано механізм розвитку розшарувань порід навколо виробки і визначені найбільш небезпечні ділянки.

**Ключові слова:** анкерне кріплення, зміщення, гірські породи, руйнування.

**S.V. Podkopaev, S.V. Sakhno**

Donetsk National Technical University, Krasnoarmis`k

### **RESEARCH THE CAUSES OF CAVING IN ROADWAYS, BY BOLT SUPPORT**

One of the main causes of accidents in coal mines is a rockfall of rock in extended workings. Traditionally, it is about the workings, fixed frame supple arch support. And one of the measures to prevent windfalls is an extra bolting. However, the practice of mining operations shows that in the workings fixed with arch and roof bolt support of roof collapse are not uncommon.

In order to determine the nature of the deformation of rocks around a mine working fixed anchors, field observations were carried out with the help of deep frames on specially equipped metering stations, the results of which are shown in the article. The mechanism of rocks around bundles of development and identified the most dangerous areas.

**Keywords:** bolt support, displacement, rocks, destruction.