

УДК 622.831.3

И. Г. Сахно, Н. Н. Касьян

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Особенности конвергенции пород и пространственного перемещения рам крепи в условиях шахты «Щегловская-Глубокая»

Традиционные представления о сдвигениях пород приконтурной зоны не позволяют объяснить некоторые проявления горного давления в условиях глубоких шахт, в частности пространственное деформирование рам арочной крепи. Что вызывает, в ряде случаев, сложность обеспечения устойчивости горных выработок. Представлены результаты шахтных натуральных наблюдений за пространственными сдвигениями приконтурных пород и элементов арочной крепи, позволяющие оценить характер и величину горизонтальной составляющей смещений в направлении продольной оси выработки. Предложено объяснение причин горизонтальной составляющей сдвижений и выявлены ее особенности.

Ключевые слова: арочная крепь, смещения, деформирование рам крепи, горизонтальная составляющая.

Традиционно при решении задач горной геомеханики деформирование пород в полость выработки рассматривают в вертикальной плоскости или плоскости проведенной по нормали к напластованию, исходя из того, что все поперечные сечения выработки равноценны в условиях однородного поля напряжений. При этом деформирование рам арочной крепи также, как правило, рассматривают только в вертикальной плоскости. Это позволяет заменять объемную картину сдвижений породного массива плоской задачей, что существенно упрощает расчеты. Такая постановка не всегда позволяет с необходимой степенью точности оценить устойчивость выработки и обеспечить ее эксплуатационное состояние применением оптимального крепления.

Практика ведения горных работ показывает, что такой подход к пониманию геомеханических процессов происходящих в окрестности горных выработок, особенно на больших глубинах, является недопустимо упрощенным и не позволяет объяснить целый ряд процессов и явлений наблюдаемых при ведении горных работ.

Установленную экспериментально неоднородность смещений контура выработок, деформирования рам крепи и дискретность вывалов по трассе выработки практически невозможно объяснить с позиций классической механики сплошной среды. Одним из путей объяснения указанных особенностей деформирования горного массива является теория зональной дезинтеграции горных пород [1], заключающаяся в образовании в массиве вокруг выработки кольцеобразных чередующихся зон относительно ненарушенных и разрушенных пород. Изучению явления зональной дезинтеграции пород вокруг горных выработок на большой глубине посвящены работы отечественных и зарубежных ученых. Исследования проводились геофизическими, перископическими и петроскопическими методами на шахтах и рудниках Украины [2, 3], России [4], ЮАР [4], Китая [6]. Установлены закономерности неоднородных знакопеременных деформаций в глубине массива горных пород.

В работе [7] отмечается, что вдоль образующей протяженной горной выработки наблюдается перемещение зон сжатия и растяжения по винтовой линии, что обуславливает неоднородность зон дезинтеграции вдоль горной выработки и соответственно неоднородность смещений ее контура.

Периодический характер конвергенции в выработке вдоль ее продольной оси наблюдался рядом авторов [8, 9]. Известно, что вертикальная конвергенция в протяженной выработке не является равномерно распределенной, разница в смещениях соседних рам крепи может составлять до десятков сантиметров. При этом известно, что чем меньше величина абсолютных смещений на контуре выработке, тем больше отклонение смещений рам от среднего, и наоборот, с увеличением

величины абсолютных смещений разброс относительно среднего уменьшается [10], на основании проведенной статистической обработки наиболее вескими причинами разброса авторы называют неравномерность прочностных свойств породного массива и неравномерный отпор крепи.

Необходимость учета пространственного характера смещений массива отмечалась рядом авторов. Так в работе [11] для условий подготовительной выработки на основании физического и математического моделирования установлен пространственный характер сдвижений, неоднородность смещений по трассе выработки и показана необходимость учета пространственного перемещения пород в окрестности подготовительной выработки при выборе параметров анкерной крепи, а также при креплении участков сопряжений [12] анкерно-стяжной крепью. В работе [13] на основании шахтных инструментальных замеров отмечено, что на сопряжениях лав с транспортными выработками относительные горизонтальные деформации кровли перпендикулярно к очисному забою достигали $1,62 \cdot 10^{-3}$, параллельно – величины $2,64 \cdot 10^{-3}$, на основании проведенных математических исследований определена горизонтальная составляющая напряжений, что дало основание автору предложить пространственное расположение анкеров на сопряжении.

Таким образом, проведенные в последние годы работы существенно расширяют представления о сложных геомеханических процессах, происходящих вокруг протяженных горных выработок на больших глубинах, однако в них недостаточно оценена горизонтальная компонента смещений в направлении продольной оси выработки, и ее роль в процессе разрушения горных пород и сдвижениях контура выработки, а выводы касаются в основном разброса вертикальной конвергенции по трассе выработки и радиальных смещений в глубине массива.

Анализ работы арочных податливых крепей показывает, что основными причинами деформирования рам и необходимости их замены являются: исчерпание податливости в замках рамы крепи, изгиб или излом элементов профиля, выкручивание профиля рамы. При этом известно, что широко применяемые конструкции арочной крепи, устанавливаемые в горной выработке не работают в оптимальном режиме, выдерживая фактические нагрузки в разы меньше, чем полученные в результате стендовых испытаний. Объясняется это тем, что вектор максимальных смещений контура выработки зачастую не совпадает с вектором работы рамы. Вопросы асимметрии смещений в поперечном сечении выработки достаточно детально рассмотрены в литературе.

Обследование ряда шахт Донецко-Макеевского углепромышленного района, показало, что одной из форм деформирования арочной крепи является наклон рам вдоль продольной оси выработки при этом наблюдается пространственная асимметрия смещений. Угол наклона, в отдельных случаях, может достигать 25-30 градусов (рис. 1, 2), что сопровождается разрывом и деформированием хомутов межрамных стяжек, изломом деревянных распорок (рис. 1, 2). Связывание между собой рам крепи профилем из СВП (рис. 1), не дает ощутимого положительного результата, деформируются хомуты, с помощью которых крепится продольный профиль к рамам, обрываются гайки, происходит пространственное выкручивание рамы крепи выше продольного профиля СВП.

Наклон рам крепи в направлении оси выработки приводит к тому, что внешне вполне удовлетворительно выглядящая рама с запасом податливости в замках не работает. Анализ показывает, что несмотря на значительный объем исследований и разработок, связанных с креплением выработок, вопросу горизонтальных перемещений в направлении продольной оси выработки в настоящее время уделяется недостаточное внимание.

Для изучения указанных особенностей деформирования арочной крепи авторами были проведены шахтные натурные наблюдения за динамикой пространственного сдвижения горных пород и перемещения рам крепи при помощи разработанного способа измерения конвергенции в выработке [14], который был апробирован в условиях шахты Щегловская-Глубокая [15]. Кроме того, при помощи горного компаса определяли угол наклона ножек и верхняка арочной крепи. Измерения выполнялись на 5 замерных участках длиной 8 м каждый с замерами на каждой раме крепи.

Экспериментальный участок был оборудован в конвейерном штреке 5 восточной лавы пл. т₃ гор. 915 м в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» ПАО «Шахтоуправление «Донбасс», который проводился вслед за лавой с подрывкой пород кровли и почвы пласта, крепился металлоарочной крепью АП–5/18,3 из СВП–33 с подставками 1,4 м и шагом: $4 \times 0,5 \text{ м} + 1 \times 0,8 \text{ м}$, сечением $S_{\text{св.}} = 20,9 \text{ м}^2$, $S_{\text{пр.}} = 28,6 \text{ м}^2$, с железобетонной затяжкой кровли, затяжкой боков металлической сеткой. Охрана штрека со стороны

лавы осуществлялась «жесткой» полосой из полублоков на глине размером 0,4x0,1x0,2 м каждый, шириной 2,0 м и высотой равной мощности пласта.



Рис. 1. Состояние крепи в конвейерном штреке 5 восточной лавы пл. т₃ гор. 915 м в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» со стороны массива



Рис. 2. Состояние крепи в западном магистральном откаточном квершлагге гор. 493 м шахты «Трудовская» ГП ДУЭК

Вынимаемая мощность пласта 1,37 – 1,52 м, угол падения от 7 до 12°, прочность угля на одноосное сжатие – 15 МПа, объемный вес – 1,32 т/м³. Ложная кровля представлена глинистым сланцем с нарушенной текстурой или переслоенным прожилками угля мощностью от 0,1 до 0,5 м. Непосредственная кровля – глинистый сланец мощностью от 3,5 до 4,0 м. По устойчивости породы относятся к категории Б₃, в зонах опорного давления – Б₂. Основная кровля представлена верхней частью слоя глинистого сланца, песчаным сланцем и песчаником общей мощностью от 28,0 м до 42,0 м. Глинистый сланец с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа в верхней части

слоя переходил в мелкозернистый песчаник мощностью 3,7 м с прочностью на одноосное сжатие от 75 до 95 МПа. Породы основной кровли по обрушаемости относятся к категории А₂. Непосредственная почва представлена песчаным сланцем мощностью 0,80 м, с прочностью на одноосное сжатие от 20 до 30 МПа. Основная почва – песчаный сланец, с прочностью на одноосное сжатие от 61 до 75 МПа.

В результате обработки результатов измерений были построены графики изменения угла наклона рам крепи по трассе выработки при удалении от забоя (рис. 3-6). Общий график вертикальной конвергенции и горизонтальных сдвижений кровли в районе замка крепи со стороны выработанного пространства на участке 0-45 м от забоя выработки приведен на рис. 7.

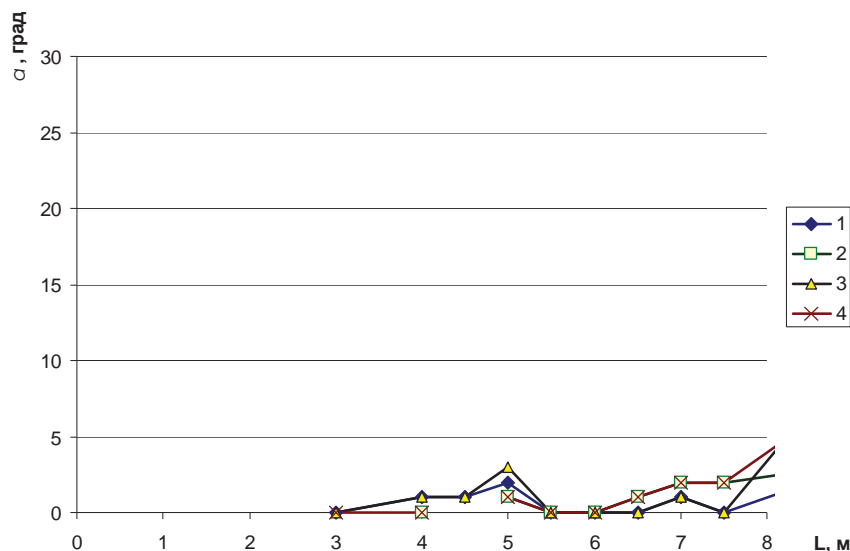


Рис. 3. Графики изменения угла наклона элементов рам крепи α , по трассе выработки при удалении от забоя на расстояние 1 - 8 м

1 – ножка крепи со стороны выработанного пространства, 2 – верхняк со стороны выработанного пространства, 3 – ножка крепи со стороны массива, 4 – верхняк со стороны массива

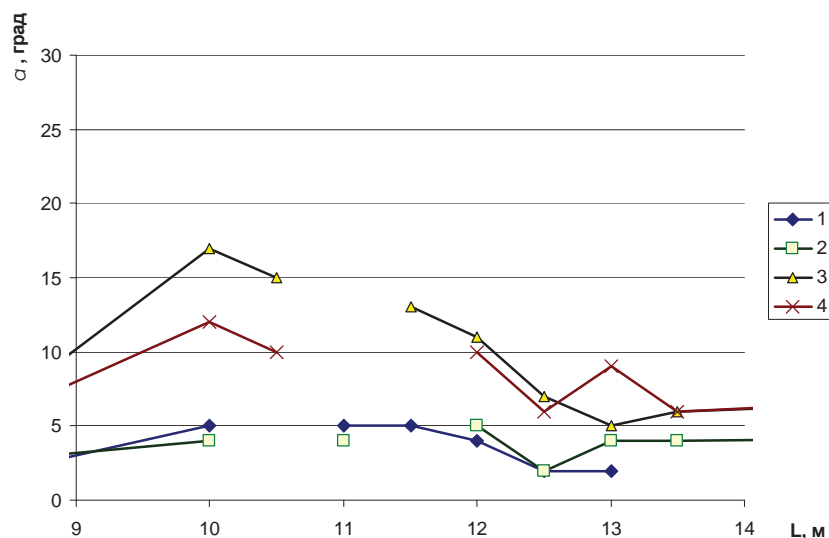


Рис. 4. Графики изменения угла наклона элементов рам крепи α , по трассе выработки при удалении от забоя на расстояние 9-14м

1 – ножка крепи со стороны выработанного пространства, 2 – верхняк со стороны выработанного пространства, 3 – ножка крепи со стороны массива, 4 – верхняк со стороны массива

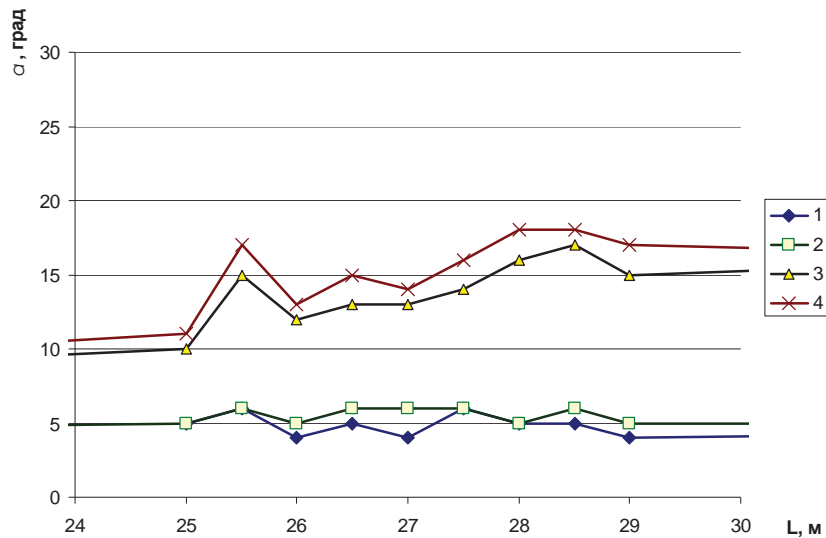


Рис. 5. Графіки зміни кута нахилу елементів рами кріплення α , по трасі виробки при віддаленні від забоя на відстані 24-30 м

1 – ножка кріплення з боку виробаного простору, 2 – верхняк з боку виробаного простору, 3 – ножка кріплення з боку масиву, 4 – верхняк з боку масиву

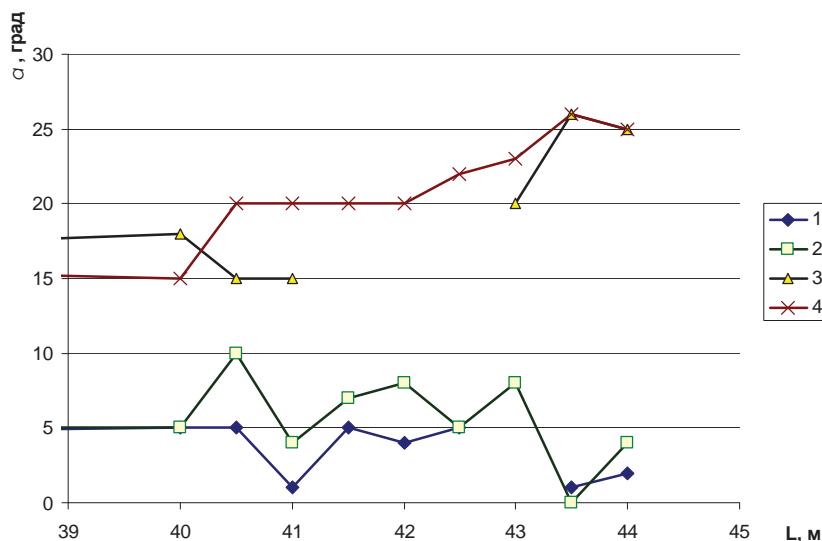


Рис. 6. Графіки зміни кута нахилу елементів рами кріплення α , по трасі виробки при віддаленні від забоя на відстані 39-44 м

1 – ножка кріплення з боку виробаного простору, 2 – верхняк з боку виробаного простору, 3 – ножка кріплення з боку масиву, 4 – верхняк з боку масиву

Аналіз графіків показує, що абсолютні горизонтальні зміщення кровлі вздовж траси виробки збільшуються за законом близьким до логарифмічного, при цьому нахил рами в напрямку продольної осі виробки досягає 25 градусів. Кут нахилу рами змінюється нерівномірно по трасі виробки, це можна пояснити загальними закономірностями розвитку зміщень як в вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Слід зауважити, що з боку масиву величина горизонтальних зміщень в напрямку продольної осі виробки більша, ніж з боку виробаного простору. Крім того, кут нахилу верхняка, як правило, завжди більший, ніж нахил ножек рами кріплення.

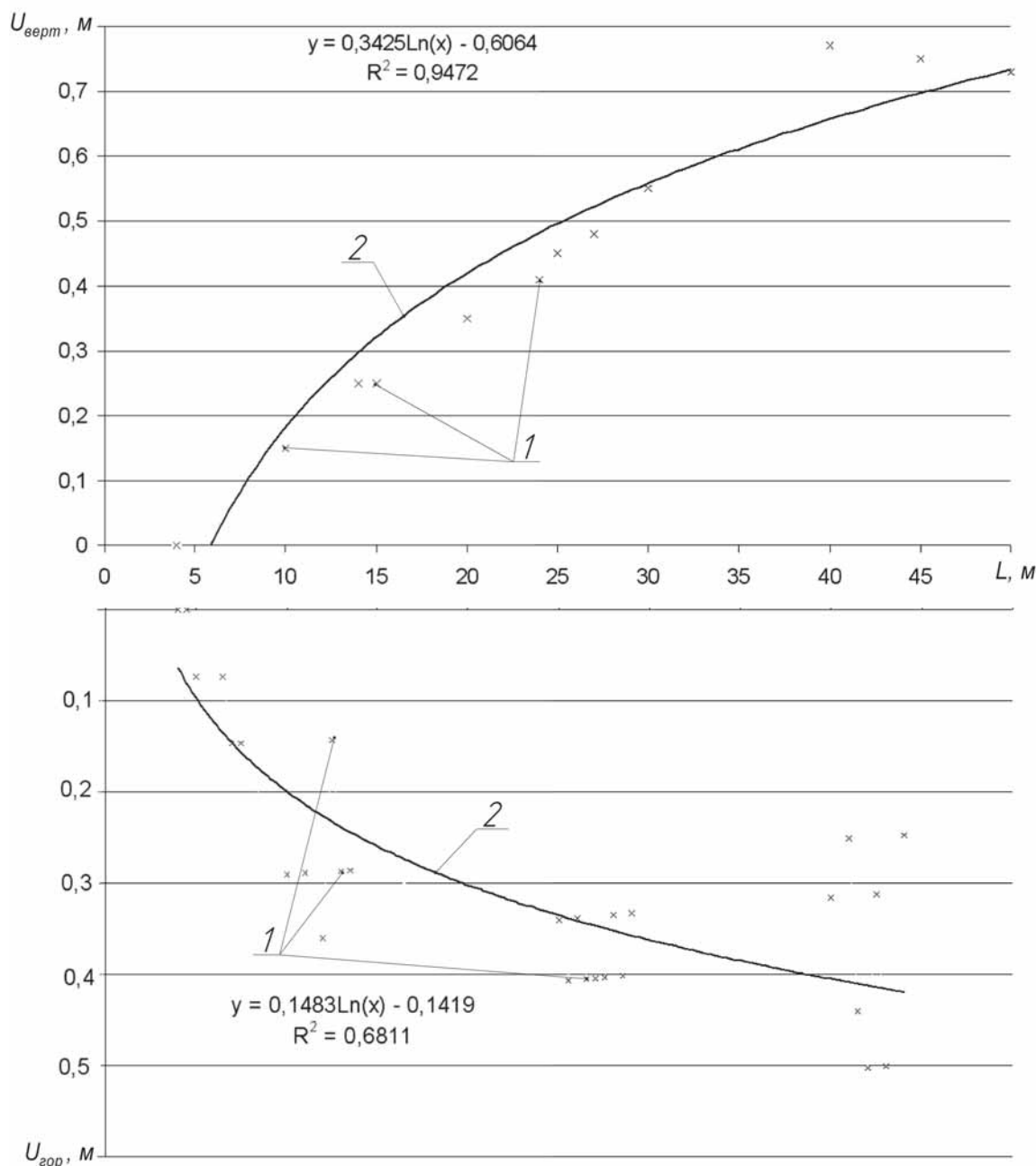


Рис. 7. Графики общей вертикальной конвергенции $U_{\text{верт}}$ и горизонтальных сдвижений кровли в районе замка крепи со стороны выработанного пространства $U_{\text{гор}}$ по трассе выработки при удалении от забоя на расстояние $L, \text{м}$

1 – данные измерений, 2 – теоретическая кривая (линия тренда)

Объяснение полученным результатам, на наш взгляд, может быть представлено следующим образом. Разрушка массива при выемке горной массы, при проведении выработки или при ведении очистных работ приводит, в том числе, к горизонтальным перемещениям пород приконтурной зоны, что объясняется разуплотнением пород в направлении образованной полости. В случае, когда это явление наблюдают в угольном пласте, его называют отжимом. Горизонтальные смещения в кровле концевых участков лав измерялись некоторыми авторами [13], однако их абсолютная величина весьма незначительна.

Из графиков рис. 3-6 видно, что заметный наклон рам крепи начинается на расстоянии 7-10 м от забоя штрека, что соответствует расстоянию 12-15 м от забоя лавы, поскольку штрек проводился вслед за лавой, а стабилизация горизонтальных смещений наблюдается на расстоянии 40-50 м от лавы. Это позволяет связать горизонтальные сдвигения в направлении продольной оси

выработки с обрушением зависающих пород основной кровли вслед за лавой. Анализ горно-геологических условий показывает, что породы кровли имеют выраженный кливаж, при этом трещины наклонены в сторону выработанного пространства под углом 35-75 градусов от горизонтали, таким образом являясь естественными плоскостями скольжения для обрушающихся блоков пород основной кровли. Обрушающиеся породы перемещаются по плоскостям скольжения, повышая таким образом горизонтальную компоненту напряжений в породах приконтурной зоны, и вызывая изгиб зависающей со стороны массива консоли основной кровли в пространстве под острым углом к продольной оси выработки. Со стороны выработанного пространства в штреке величина этих напряжений снижается за счет деформирования рамы крепи и приконтурных пород в направлении вертикальной оси выработки, а со стороны массива, условно говоря в заделке зависающей консоли, происходит рост напряжений вызванных ее пространственным изгибом, что вызывает, в том числе, разгрузку пород в горизонтальной плоскости, их разуплотнение и, как следствие, горизонтальные сдвиги контура выработки в направлении ее продольной оси. С этой позиции можно объяснить причину большего наклона рам со стороны массива, чем со стороны выработанного пространства, а также больший наклон верхняка рамы чем ножек крепи. Кроме того, в пользу выдвинутого предположения говорит также тот факт, что в условиях этого же пласта в 3 восточном конвейерном штреке пл. т₃ гор. 915 м при сходных горно-геологических условиях, проведенные авторами замеры конвергенции показали, что явление наклона рам крепи в направлении продольной оси выработки не наблюдается. Анализ горно-геологических условий показал, что кливажные трещины пород основной и непосредственной кровли имели наклон в сторону пласта, преобладающий угол наклона 115-135 градусов, таким образом, обрушающиеся в выработанном пространстве и на границе с ним породы не имели возможности свободно смещаться по плоскостям скольжения в направлении забоя лавы. Также подтверждением выдвинутого предположения может являться тот факт, что в местах повышенного водопритока наклон рам значительно выше, чем на сухих участках, что объясняется снижением трения по плоскостям кливажных трещин.

Таким образом, проведенные шахтные натурные наблюдения позволили исследовать явление пространственного перемещения пород приконтурной зоны выработки проводимой вслед за лавой в направлении ее продольной оси, объяснить причину горизонтальной составляющей сдвижений и выяснить их особенности. Результатом горизонтальных смещений является наклон рам арочной крепи в направлении продольной оси выработки, что приводит к ее преждевременному выходу из строя, несмотря на запас податливости в замках. Анализ способов борьбы с этим явлением показал, что связывание рам крепи между собой не дает существенного эффекта. На наш взгляд уменьшить величину горизонтальных смещений и общую конвергенцию в штреке при таких условиях можно за счет направленного воздействия на массив, и выравнивания компонент напряжений в приконтурной зоне. Это может быть достигнуто, например, с помощью разработанного авторами способа крепления горных выработок [16].

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение явления пространственного смещения пород приконтурной зоны в условиях выработок проводимых вслед за лавой. Для этого планируется проведение эквивалентного моделирования, а также численного моделирования методом конечных элементов.

Библиографический список

1. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. Открытие № 400 СССР / Е. И. Шемякин, М. В. Курленя, В. Н. Опарин, В. Н. Рева, Ф. П. Глушихин, М. А. Розенбаум. — Опул. 1992, БИ № 1.
2. Шахтные исследования характера разрушения слабых пород на шахтах Западного Донбасса / [А.В. Шмиголь, В.Я. Кириченко, С.К. Бучатский, В.Н. Рева] // Шахтное строительство. — 1987. - №5. — С. 11-12.
3. Морозов А.Ф. Флуктуации зональной дезинтеграции осадочных пород вокруг подготовительной выработки / А.Ф. Морозов, А.М. Юскенич // Уголь Украины. — 1991. - №7. - С. 36-39.
4. Опарин В.Н. О некоторых закономерностях в напряженно-деформированном состоянии окрестности горных выработок / В.Н. Опарин, И.Я. Елисоветский // Геофизические методы контроля напряжений в горных породах: сб. науч. тр. - Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1980. - С. 139-143.
5. Adams G.R. Petroscopic observation of rock fracturing ahead of stop faces in deep-level gold mines / G.R. Adams, A.J. Jaqer // J.South African Inst. Mining and Metallurgy. — 1980. - vol. 80, № 6. - PP. 204-209.

6. Xu Yuhao. Integral movement of with surrounding rock project and character of two opposite radial points moving in same direction / Xu Yuhao // «Journal of China Coal Society». – 1989. - № 2.
7. Паламарчук Т.А. Элементы механосинергетики породного массива / Т.А. Паламарчук, В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2006. – 308 с.
8. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1993. – 256 с.
9. Старосельцев Л. М. О разбросе смещений по длине выработки / Л. М. Старосельцев, В. Я. Мининберг // Уголь. – 1992. - № 3. - С. 7-9.
10. Разброс смещений на контуре подготовительной выработки / [Н. И. Красько, В. В. Назимко, С. Н. Александров и др.] // Уголь Украины. – 2002. - №7. - С. 7-10.
11. Сажнев В.П. Пространственные сдвигения пород вокруг одиночной протяженной подготовительной выработки / В.П. Сажнев, В. В. Назимко // Проблемы гірського тиску. – 2000. - №4. - С. 30-63.
12. Схемы пространственного усиления анкерных крепей в зоне воздействия очистных работ / Ю.А. Горяженко, В.П. Сажнев, Е.И. Иванов, В. В. Назимко // Проблемы гірського тиску. – 2000. - №4. - С. 92-102.
13. Касьян С.І. Обґрунтування параметрів технології зміцнення покрівлі на сполученнях лав з виробками, що повторно використовуються: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.15.02 / С.І. Касьян. – Алчевськ, 2008. – 18 с.
14. Спосіб контролю стану гірничої виробки: патент № 62401, МПК(2011.01) E21C 39/00 (Україна) / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, В.М. Мокрієнко. – № u 2011 01706; заявл. 13.12.2010; опубл. 25.08.2011, Бюл. №16. – 8 с.:ил.
15. Касьян Н.Н. Обоснование параметров способа контроля состояния горной выработки и методика его реализации / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно, В.Н. Мокриенко; під. заг. ред. А.В. Анциферова // Наукові праці УКРНДМІ НАН України. – 2011. - Вип. 9, Ч.1. - С. 57-79.
16. Спосіб кріплення гірничих виробок: патент вин № 96816, МПК(2011.01) E21D 11/00, E21D 21/00, E21D 11/00 (Україна) / М.М. Касьян, І.Г. Сахно. – № a201000705; заявл. 25.01.2010; опубл. 12.12.2011, бюл. № 23. – 8 с.:ил.

Надійшла до редакції 18.02.2012

І. Г.Сахно, М. М. Касьян

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Особенности конвергенции пород та просторового переміщення рам кріплення в умовах шахти «Щегловська-Глибока»

Традиційні уявлення про зрушення пород приконтурної зони не дозволяють пояснити деякі прояви гірського тиску в умовах глибоких шахт, зокрема просторову деформацію рам кріплення. Що викликає, у ряді випадків, складність забезпечення стійкості гірничих виробок. Представлені результати шахтних натурних спостережень за просторовими зрушеннями приконтурних пород і елементів арочного кріплення, що дозволяють оцінити характер і величину горизонтальної складової зсувів у напрямі подовжньої осі виробки. Запропоновано пояснення причин горизонтальної складової зрушень і виявлені її особливості.

Ключові слова: арочне кріплення, зсуви, деформація рам кріплення, горизонтальна складова.

I. Sahno, N. Kasyan

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Peculiarities of Rock Convergence and Support Frame Spatial Displacement in the Mine "Shcheglovskaya-Deep"

The traditional notions about contour area rocks displacements do not allow accounting for certain displays of rock pressure in deep mines, in particular spatial deformation of arch support frames. In some cases it makes it more difficult to provide mining excavations stability. The paper presents the results of the field observation of contour rocks and arch support elements displacements. These observations allow estimating the nature and the value of the horizontal component of dislocations in the direction of the excavation's longitudinal axis. The causes of the horizontal component of displacements and its features are discussed.

Key words: arch support, displacements, deformation of support frames, horizontal component.