

УДК 622.831

А.Н. ШАШЕНКО, д-р техн. наук, проф.,
А.В. СОЛОДЯНКИН, канд. техн. наук, доц.,
А.В. НАУМОВИЧ, инж., соискатель,

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОРОД ПО ГЛУБИНЕ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Выполнены исследования смещений пород приконтурной области массива. В результате установлена зависимость абсолютных смещений, радиальных и тангенциальных деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций и определены границы зон разрушенных и пластически деформированных пород.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. В условиях больших глубин разработок при гидростатическом поле начальных напряжений на контуре одиночной протяженной выработки возникают сжимающие усилия, абсолютные значения которых превышают предел прочности горных пород на сжатие, что приводит к их разрушению и образованию вокруг выработки зоны неупругих деформаций (ЗНД).

Многочисленные шахтные исследования параметров геомеханических процессов вокруг выработки, выполненные разными учеными, в основном описывают аналогичную картину деформирования и разрушения пород. Так, например, в [1] этот процесс представлен следующим образом. Сразу после проведения выработки у контура образуется зона разрушенных пород, которая в работе названа зоной условно-мгновенного разрушения. За этой зоной дальше от контура находится зона вязко-пластических деформаций. С течением времени границы этих зон изменяются, так как происходит перераспределение напряжений вокруг выработки вследствие влияния удаляющегося забоя и дальнейшего разрушения породного массива. Максимум скорости смещения контура в выработках с таким типом деформаций наблюдается непосредственно у забоя выработки, после достижения чего, она пикообразно уменьшается, однако полного затухания смещений в большинстве случаев не происходит. По результатам наблюдений автора, зона условно-мгновенного разрушения охватывает примерно двухметровый слой пород у контура выработок. Коэффициент расширения приконтурного слоя пород мощностью 1 метр достигает 1,10-1,12. В дальнейшем разрушению подвергаются и более глубокие от контура слои пород, но с существенно более низким объемным расширением. За зоной вязко-пластических деформаций находится зона деформаций ползучести. Размер зоны неупругих деформаций для выработок, расположенных в наиболее сложных геомеханических условиях, как показали результаты шахтных наблюдений, может достигать 7-12 м.

Формирование столь больших зон разрушенных и деформированных пород вокруг выработки приводит к большим смещениям породного контура, формированию критической нагрузки на крепь, деформациям последней и вызывает такие катастрофические явления, как пучение пород почвы, вывалообразование пород кровли. В связи с этим, резко увеличиваются затраты на ремонт и поддержание выработок в эксплуатационном состоянии.

Как показывает опыт поддержания выработок, эффективное управление состоянием окружающего выработку массива возможно путем воздействия на приконтурную зону максимально нарушенных пород мощностью 1...2 м. Таким образом, раскрытие и учет закономерностей деформационных процессов в приконтурном массиве пород для обоснования параметров способов управления геомеханическим состоянием породного массива и предупреждения опасных проявлений горного давления является актуальной научно-технической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Исследования процесса жесткого разрушения породных образцов показывают, что при деформировании их прочность падает от мгновенной R_c до некоторой остаточной прочности [1]. Потеря прочности горной породы является следствием образования микротрещин и последующего их слияния в макротрещины. В массиве приконтурных горных пород протекают аналогичные процессы. Это подтверждено шахтными исследованиями прочностных свойств массива в окрестности выработки ультразвуковыми экспериментами. На рис. 1 показан график зависимости относительной прочности массива от

расстояния до контура выработки, полученный Виноградовым В.В. [2]. Достаточно близкие аналитические зависимости получены А.Н. Шашенко [3] и Б.А. Картозией [4].

В ряде работ [1, 6] вся область деформированных пород в окрестности выработки разделяется условно на две зоны: 1 – собственно зона неупругих деформаций, включающая все виды неупругих деформаций и 2 – зона максимально разрушенных пород или зона руинного разрушения.

Постановка задачи. Задачей настоящих исследований являлось обобщение результатов шахтных измерений и определение границы зоны пород, которые можно отнести к потенциально управляемым с помощью эффективных способов крепления и упрочнения.

Изложение материалов исследований и результаты. Для определения границ зон микро- и макроразрушений с использованием какого-либо критерия, необходимо знать зависимость изменения смещений пород по глубине от контура выработки.

Имеется значительное количество данных, в виде смещений участков массива по глубине, полученные рядом исследователей методом шахтных измерений с применением глубинных реперных станций [1, 5, 6]. Размер ЗНД, а также степень нарушенности пород определяются по величине смещений реперов, закрепленных в различных по глубине точках массива.

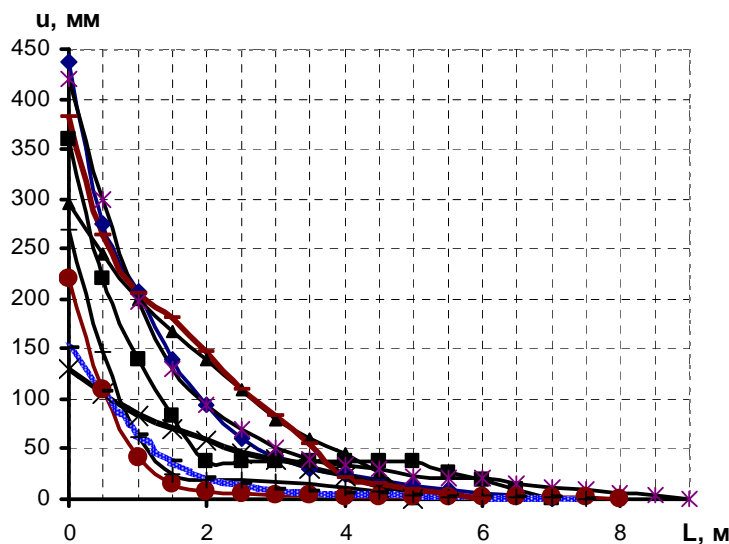


Рис. 2. Результаты шахтных исследований смещений массива по глубине зоны неупругих деформаций

веществом выработку породном массиве, но для определения характерных зон деформаций, этих сведений не достаточно.

Помимо смещений важно знать соответствующие значения радиальных деформаций, а также и тангенциальные деформации, которые непосредственным изменениям в массиве не

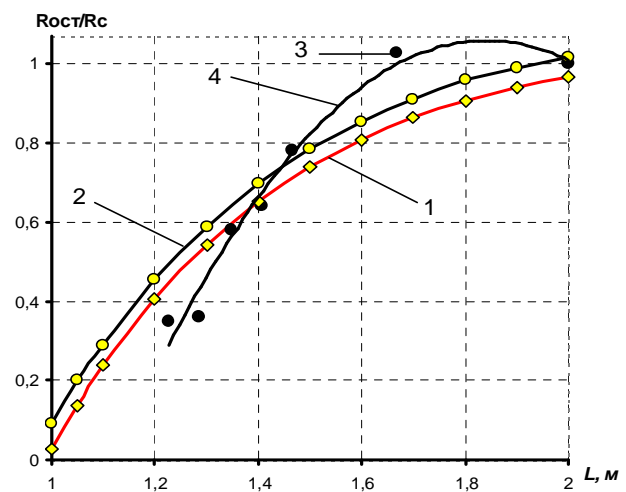


Рис. 1. Относительная прочность породного массива в зависимости от расстояния от контура выработки: 1 – аналитическая зависимость А.Н. Шашенко, 2 – данные Б.А. Картозии, 3, 4 – данные В.В. Виноградова – экспериментальные значения и их аппроксимация соответственно

Графики смещений породного массива по глубине от контура выработки по данным [1, 5, 6] показаны на рис. 2. В результате обобщения этих натуральных измерений получена следующая аппроксимирующая зависимость (рис. 3):

$$u = \frac{0,2}{(1 + 5L^{1,5})}, \quad (1)$$

где L – расстояние от контура выработки до измеряемой точки окружающего массива.

Установленная зависимость смещений точек массива по глубине достаточно хорошо описывает процесс разупрочнения, протекающий в окружающем массиве.

поддаются. Однако их можно определить через радиальные смещения (для круглой выработки с радиусом R_0) следующим образом [7, 8]:

$$\varepsilon_t = \frac{u_r}{(R_0 + L)} \quad (2)$$

Подставляя в выражение (2) значение u из (1), получим:

$$\varepsilon_t = \frac{0,2}{(R_0 + L)(1 + 5L^{1,5})} \quad (3)$$

С другой стороны, радиальные деформации определяются как производные u_r по L :

$$\varepsilon_r = du_r / dL = -0,2(1 + 5L^{1,5})^{-2} 7,5L^{0,5} = -\frac{1,5L^{0,5}}{(1 + 5L^{1,5})^2} \quad (4)$$

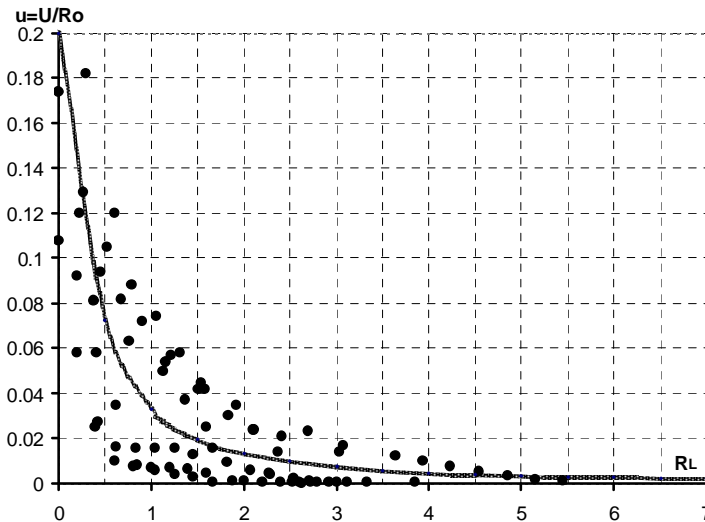


Рис. 3. Зависимость смещений массива по глубине зоны неупругих деформаций остальных случаях:

$$\varepsilon_0' = \frac{\lambda \gamma H}{E} \quad (6)$$

Таким образом, в каждом отдельном случае должны быть определены как ε_r , так и ε_t с тем, чтобы обозначить интересующие нас зоны разрушения, неупругих и упругих деформаций, что особенно важно на больших глубинах, где ε_0 составляет значительную величину. Вычтя из ε_r , определенной по выражению (4), величину ε_0 и сравнив с критическим значением деформации, соответствующим разрушению породы - $\varepsilon_{кр}$, можно определить расстояние L_x от контура выработки до интересующей нас зоны приконтурного массива.

В качестве примера рассмотрим условия глубоких шахт Донбасса. Исходными данными примем: глубина заложения выработки $H = 1000$ м, вмещающие породы – песчаник (предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 65,0$ МПа, предел прочности на растяжение $\sigma_p = 5,0$ МПа, модуль упругости $E = 5 \cdot 10^4$ МПа, объемный вес $\gamma = 2500$ кг/м³).

Для рассматриваемых условий определим:

$$\varepsilon_0 = \frac{\gamma H}{E} = \frac{2500 \times 1000}{500000000} = 0,005$$

По данным работ [6, 8, 9]

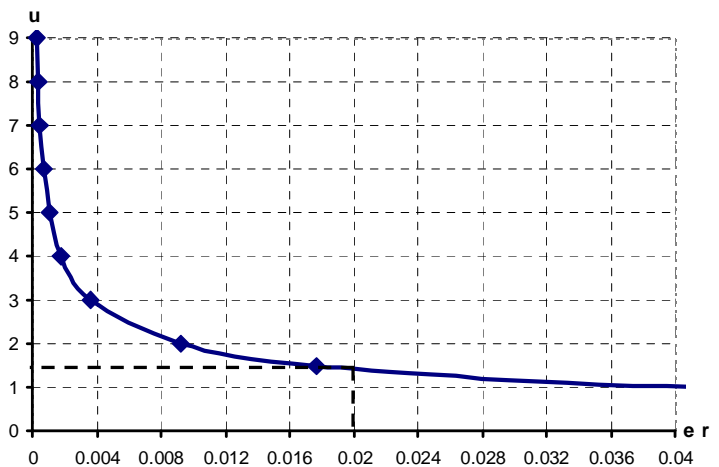


Рис. 4. Радиальные относительные деформации

критическая деформация пород при разрушении $\varepsilon_{кр} = 0,02$.

Результаты определения радиальных деформаций по глубине ЗНД представлены на рис. 4. В соответствии с критическими величинами деформаций пород, граница зоны разрушенных пород находится на глубине 1,5 м от контура выработки.

Размеры зон разрушенных пород вокруг выработок глубоких шахт по данным, приведенным в [10] очень близки расчетным величинам, определенным выше.

Таким образом, рассмотренная методика с достаточной для практических целей степенью точности позволяет определить зоны деформаций вокруг выработки при наличии данных о прочностных параметрах вмещающих пород. Зная реальную картину деформаций, можно принимать или корректировать параметры способов управления геомеханическим состоянием приконтурного породного массива.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Выполнены исследования смещений пород приконтурной области массива. В результате установлена зависимость абсолютных смещений, радиальных и тангенциальных деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций и определены границы зон разрушенных и пластически деформированных пород.

Учитывая, что размеры зоны разрушенных пород относительно невелики и сравнимы с размерами (радиусом) выработки, а основные смещения контура выработки обусловлены разрыхлением именно приконтурной зоны массива, направления дальнейших исследований должны быть связаны с обоснованием параметров управления состоянием именно этой зоны пород. Наиболее эффективными для этих целей являются крепи с высокой несущей способностью при ограниченной податливости, способы упрочнения массива с помощью анкеров или вяжущих составов.

Список литературы

1. **Черняк И.Л.** Предотвращение пучения почвы горных выработок. – М.: Недра, 1978. – 237 с.
2. **Виноградов В.В.** Исследование и разработка методов, алгоритмов и программ прогноза устойчивости капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Д., 1975. – 23 с.
3. **Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А.** Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Універ. вид-во "Пульсари", 2002. – 304 с.
4. **Картозия Б.А.** Исследование механических процессов деформирования массивов горных пород в запрельном состоянии // Сб. науч. тр. МГИ. Строительство подземных сооружений и шахт. – М.: МГИ, 1076. – С. 32-41.
5. **Заславский Ю.З.** Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1966. – 180 с.
6. **Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И.** Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
7. **Салустович А.** Zaris mechaniki gorotworu. Катовице, Slask, 1965.
8. **Джанджгава И.Д.** Определение зон деформаций вокруг одиночных выработок по смещениям реперов // ФТПРПИ. – № 2. – 1981. – С. 20-23.
9. **Виноградов В.В.** Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
10. Строительство горных выработок в сложных горнотехнических условиях: Справочник / Б.А. Картозия, В.А. Пшеничный, И.Г. Косков и др.; Под ред Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1992. – 320 с.