

УДК 622.83

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ МАЛОАМПЛИТУДНОЙ НАРУШЕННОСТИ НА ВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ

Дрибан В. А., Южанин И. А.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)
Севрюков А. О.
(Донгипрошахт, г. Донецк, Украина)

Наведено результати досліджень впливу малоамплітудної диз'юнктивної порушеності на ведення гірничих робіт. Виявлено недоліки і визначено можливі напрямки подальшого дослідження.

We present the results of research into the impact of small-scale faulting on mining. The downsides are determined and feasible directions of prospective research are defined.

К малоамплитудным относят мелкие (со стратиграфической амплитудой от 3 до 10 м) и очень мелкие (с амплитудой менее 3 м) тектонические нарушения породного массива. Они распространены практически на всех шахтных полях.

В практической деятельности горных предприятий геологические нарушения играют особую роль. Ведение горных работ в зонах влияния геологических нарушений всегда вызывает нарушение их ритмичности, требует применения дополнительных организационно-технических мероприятий, затрат времени и средств на переход нарушенных зон. Это касается всех без исключения видов горных работ: ведения очистных работ, управления горным давлением, проведения горных выработок, предотвращения газодинамических явлений (ГДЯ) и т.д.

Малоамплитудные разрывные нарушения геологической разведкой не выявляются [1], поэтому они не учитываются при

планировании горных работ. Вскрываются малоамплитудные нарушения проводимыми выработками неожиданно, и поэтому они могут вызвать внезапное обрушение боковых пород, повышенное газовыделение, инициирование ГДЯ и другие осложнения.

С практической точки зрения малоамплитудные нарушения представляют интерес с двух позиций: обнаружения (прогноза) их при проведении горных выработок и определения их характеристик с целью установления степени влияния на процесс ведения горных работ.

Поэтому целью научных исследований малоамплитудных нарушений является установление закономерностей и особенностей их расположения, характеристических признаков, состояния и свойств породного массива в зонах влияния нарушений.

Перечень исследуемых вопросов чрезвычайно широк, так как малоамплитудные нарушения различаются своими параметрами (величина амплитуды, угла сместителя, зоны влияния), состоянием (напряженно-деформированным, газодинамическим) и свойствами (прочностными, структурными и др.) массива пород на участке влияния нарушения.

В свете вышеизложенного целесообразно проанализировать имеющиеся материалы по данному вопросу.

В целом малоамплитудные нарушения характеризуются двумя факторами [1]: повышенной трещиноватостью пород, обуславливающей изменение физических и структурных свойств пород и изменением литогенетического типа пород в слое.

Разрывные малоамплитудные нарушения имеют следующий характер проявления[2]:

- в виде одиночных или групп и систем мелкоблоковых подвижек угольного пласта;
- в виде относительно небольших зон, примыкающих к крупным разрывным нарушениям;
- на некоторых участках развития крупных нарушений – в виде системы мелких разрывов ступенчатого характера с суммарной амплитудой смещения, близкой к амплитуде крупного нарушения;
- в виде систем мелких парных сбросов.

Особенности состояния и свойств массива горных пород в районах геологических нарушений приведены в таблице 1.

Обобщение данных табл. 1 позволяет сформулировать следующие закономерности состояния и свойств породного массива и угольного пласта в районах геологических нарушений:

1. Повышенное напряженно-деформированное и газодинамическое состояние горного массива.
2. Интенсивная трещиноватость пород.
3. Повышенное проявление горного давления.
4. Повышенная изменчивость прочностных и структурных свойств угольного пласта, элементов его залегания.
5. Повышенная температура угольного пласта и боковых пород.
6. Повышенные параметры сейсмоакустического сигнала (амплитуда, энергия, отношение низких и высоких частот).
7. Пониженные прочностные свойства угольного пласта и боковых пород.
8. Пониженное удельное электрическое сопротивление пород.

Хотя в конкретных горно-геологических условиях вышеперечисленные закономерности проявляются не в одинаковой степени, имеют свои количественные параметры, в целом они могут быть использованы, во-первых, для разработки практических решений при переходе зон влияния нарушений (прогноз, мероприятия) и, во-вторых, для разработки направлений дальнейшего проведения исследований малоамплитудных нарушений.

Рассмотрим влияние малоамплитудной нарушенности на ведение горных работ. В первую очередь это влияние сказывается на проведении и поддержании горных выработок. Интенсивная трещиноватость пород на участках малоамплитудных нарушений, ослабление прочностных свойств пород обуславливают снижение их устойчивости. Это приводит к обрушениям пород при незначительных их обнажениях при проходке выработок и повышенным смещениям (и нагрузкам на крепь) при их эксплуатации.

Таблица 1

Особенности состояния и свойств горного массива пород в
 районах геологических нарушений

Наименование показателей	Характеристика показателей	Источник
1	2	3
1. Крепость f , начальная скорость газовой выделености g_n , окислительная способность угля ОСУ, газопроницаемость Γ	При повышении степени тектонической препаляции углей: уменьшается f , увеличивается g_n , ОСУ и Γ . Газопроницаемость образцов углей при нагрузках от 5 МПа до 7 МПа (марки угля К и А) уменьшается в сотни раз.	[3]
2. Прочность угля q ; изменчивость прочностных свойств и структуры угля, m , α	Геологические нарушения: снижение q , повышенная изменчивость перечисленных показателей	[3]
3. Температура T	Активные по выбросам геологические нарушения. Шахта им. Калинина, «Коммунист-Новая» (Октябрьуголь). Повышение T с 16,4 – 19,8 °С (породы) и с 14,2-18,9 °С (пласт) до $T = 25$ °С в зоне геологических нарушений.	[3]
4. Температура угольного пласта	Повышение в зонах геологических нарушений. Изменение радиационной температуры в забоях до 20 %.	[3]
5. Удельное электрическое сопротивление ρ	Электропрофилитрование малоамплитудных нарушений: ρ в 1,4 – 1,6 раза меньше фонового уровня.	[3]
6. Интенсивность трещиноватости $I_{тр}$	Разрывные нарушения с амплитуда $A = 0,5-10,0$ м в Донецко-Макеевском районе: при приближении выработки к разрыву $I_{тр}$ пород кровли в лежачем и висячем крыльях изменяется не одинаково. В лежачем крыле наблюдается рост $I_{тр}$. В висячем крыле, сбросов и отдельных типов надвигов отмечается значительное увеличение $I_{тр}$ в 20-60 м от разрыва.	[1]
7. Показатель трещиноватости	Разрывные тектонические нарушения. Шахта № 5-6 им. М. И. Калинина ПО Донецкуголь. При приближении к нарушению возрастает с 35-75 до 150-250. Все выбросы в нарушениях.	[3]

Продолжение таблицы 1

1	2	3
8. Повышенная концентрация напряжений	При приближении к малоамплитудному дизъюнктивному или к пликативному, представленному резким увеличением мощности пласта	[3]
9. Вертикальные напряжения σ_v , горизонтальное напряжение σ_r	При подходе к утолщению пласта на расстояние $R = 4,5$ м, $\sigma_v = 63$ МПа, что в 3,1 раза выше геостатического (20 МПа), а при приближении на расстояние $R = 0,5$ м, $\sigma_v = 113$ МПа (максимум). Горизонтальное напряжение с изменением расстояния до ГН с 4,5 м до 0,5 м увеличивается с 23 до 38 МПа (в 1,7 раза)	[3]
10. Деформации пород на контуре подготовительных выработок U , скорость смещения пород кровли v	ГП Дзержинскуголь и Артемуголь: наибольшие U зафиксированные при подходе к зоне геологического нарушения на 10-20 м и в самой зоне; скорость смещения пород кровли в 1,5-2,0 раза выше, чем на других участках.	[3]
11. Скорость смещения пород кровли и почвы v , мм/сутки	Малоамплитудные нарушения: v в зоне нарушения составляла 1,6, а за нарушением – 0,9 скорости смещения пород до нарушения.	[3]
12. Начальная скорость газовыделения g_n	При подходе к разрывному нарушению увеличивается. Прирост максимальных значений Δg_n подчиняется зависимости: $\Delta g_n = 2,18 - 0,45 l$, где l – расстояние до нарушения, м.	[3]
13. Давление газа	Резкое повышение (в 1,5-10 раз) в зависимости от положения относительно плоскости сместителя	[4]
14. Зона отжима l_0 ; расстояние до максимума напряжений l_m ; уровень амплитуды сейсмосигнала A	Сейсмозондирование малоамплитудных нарушений: в зонах нарушений l_0 в 1,5 – 2,0 раза выше; l_m передвигается в глубь массива с 2,5 до 6,0 м; A в 1,3-1,5 раза выше, чем на участках без нарушений	[3]
15. Амплитуда сейсмоакустического сигнала; отношение низких и высоких частот; энергия сейсмосигнала	Сейсмоакустическое просвечивание малоамплитудных нарушений: более высокие абсолютные значения	[3]

Так, в работе [5] были выявлены следующие закономерности влияния параметров дизъюнктивной нарушенности на условия поддержания горных выработок.

1. Влияние амплитуды дизъюнктивного нарушения

При увеличении амплитуды нарушения (A , м) увеличиваются смещения вмещающих выработку горных пород. Это можно объяснить тем, что при увеличении амплитуды нарушения соответственно увеличивается протяженность зоны раздробленных, сильнотрещиноватых и расслоенных пород, что резко снижает устойчивость нарушенного участка выемочного штрека.

2. Влияние угла падения сместителя тектонической трещины

При увеличении угла падения сместителя, смещения вмещающих выработку горных пород уменьшаются. Данный факт можно объяснить тем, что при увеличении угла падения сместителя соответственно уменьшается протяженность зоны ослабления (дробления, расслоения) пород по длине выработки.

При проектировании выработок влияние тектонической нарушенности учитывается следующим образом [6, 7].

Для выработок, располагающихся в районах крупных тектонических нарушений, расчет производят по т.н. расчетной глубине H_p , равной

$$H_p = H \cdot k, \quad (1)$$

где H – фактическая глубина расположения выработки, м
 k – коэффициент, учитывающий влияние тектонического нарушения ($k > 1$).

Влияние малоамплитудной нарушенности учитывают использованием расчетной прочности пород R_c

$$R_c = R \cdot k_c, \quad (2)$$

где R – прочность пород в образце, МПа;
 k_c – коэффициент структурного ослабления.

Величина k_c по различным данным, составляет $k_c = 0,2 - 1,0$. Определение его представляет сложную задачу. Соответствующим коэффициентом учитывается обводненность выработок.

Автор работы [8] считает, что влияние дизъюнктивных нарушений должно учитываться коэффициентом k_3 – многофункциональным параметром, который является функцией амплитуды разлома, ее ориентации, глубины, сечения горной выработки. В данный период предлагается расширенная формула для определения коэффициента структурного ослабления k_c :

$$k_c = k_w \cdot k_t \cdot k_3(L) \frac{R_m}{R_c}, \quad (3)$$

где k_w – коэффициент, учитывающий характер обводненности выработки;

k_t – коэффициент влияния времени эксплуатации выработки;

$k_3(L)$ – коэффициент влияния дизъюнктивного нарушения, имеющий экспоненциальную зависимость;

L – расстояние до дизъюнктивного нарушения;

R_m – предела прочности на одноосное сжатие породного массива;

R_c – предела прочности на одноосное сжатие образца породного массива.

Для расчета крепи горных выработок необходимо знать характер напряженно-деформированного состояния пород, их окружающих.

Были попытки компьютерного моделирования [9], в результате чего получены диаграммы распределения зон неупругих деформаций пород кровли по длине подготовительной выработки в условиях малоамплитудной дизъюнктивной нарушенности. Анализ этих диаграмм показывает, что в зоне влияния разрывного нарушения, как в висячем, так и в лежащем боку высота зоны неупругих деформаций пород кровли возрастает в 1,5 ÷ 2,5 раза.

В работе [10] приведены особенности напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработок, расположенных в зонах влияния разрывных нарушений. Они заключаются в том, что в условиях разрывного нарушения большое значение имеет горизонтальная составляющая напряжений в массиве. Это положение отмечается при анализе значения угла встречи нарушения выработкой. С изменением этого угла с 90 до 22 °

суммарные затраты на проведение и поддержание выработок увеличиваются в 2,18 раза. И объясняется это тем, что чем меньше угол подхода выработки к нарушению, тем больше влияние на ее устойчивость оказывает горизонтальная составляющая напряженного состояния массива. При подходе выработки под углом 90° горизонтальная составляющая направлена параллельно выработке, что не вызывает существенного влияния на ее устойчивость. Если выработка параллельна нарушению, то это влияние наиболее вредно.

В этой же работе [10] установлено, что при малоамплитудных дизъюнктивных нарушениях вертикальная и горизонтальная составляющие тензора напряжений увеличивается на величину, равную

$$\Delta\sigma_{\dot{a}} = \frac{\sigma_{\dot{n}\dot{a}}}{m - \Delta m} \Delta m \sin^2 \beta \quad (4)$$

$$\Delta\sigma_{\dot{A}} = \frac{\sigma_{\dot{n}\dot{a}}}{m - \Delta m} \Delta m \cos^2 \beta, \quad (5)$$

где Δm – смещение пласта в сторону пород кровли или почвы, м;

β – угол, под которым произошло смещение пласта, градус;

m – мощность пласта, м.

В работе [11] исследователи выявили иную картину. Здесь на основании исследований, проведенных ультразвуковым методом в подготовительной выработке в непосредственной близости от нарушения (на расстоянии 1 м), обнаружили, что в результате образования зоны трещиноватости произошла деформация массива, и зона повышенных напряжений сместилась вглубь его. На расстоянии 4 м от нарушения, где тектоническая трещиноватость практически отсутствовала, возникла концентрация напряжений, причем максимум зоны повышенных напряжений сместился ближе к контуру выработки, чем в нормальных условиях. Далее в этих зонах наблюдались повышенные смещения.

Контрольные измерения относительной напряженности массива методом буровых скважин также показали [11], что наи-

большие деформации скважин происходят не в трещиноватых зонах нарушений, а на расстоянии 3-5 м от них.

Предполагается, что повышенные горизонтальные напряжения, возникающие в результате тектонических подвижек, частично релаксировали, однако при подходе горных работ к трещиноватому и ослабленному массиву происходит аномальное распределение напряжений [11].

Следовательно, в условиях малоамплитудного дизъюнктивного нарушения необходимо научиться определять влияние тектонических подвижек, которые могут приводить к повышенной горизонтальной составляющей напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Вследствие того, что горные выработки в настоящее время располагаются на глубинах 800 – 1400 м, породы, их вмещающие, во многих случаях находятся в запредельном состоянии. Об этом свидетельствует наличие отжима в угольных забоях, разрушенных пород за крепью выработок. Тем более это относится к зонам геологических нарушений, прочность пород в которых снижена.

Поэтому целесообразно проанализировать поведение горных пород в зонах геологических нарушений с позиций запредельного деформирования.

Для анализа целесообразно привлечь полную диаграмму деформирования образца горной породы с двумя циклами разгрузки и нагружения на ее запредельной ветви [12] (рис. 1).

Отметим характерные особенности этой диаграммы:

- при разгрузках и нагружениях образца за пределами прочности СВ и ED запредельный участок диаграммы CEFГ такой же, как и при деформировании ненарушенного образца;

- модуль деформации (спада) при первом цикле разгрузки – нагружение за пределом прочности ниже, чем модуль деформации при нагружении ненарушенного образца, а при втором цикле разгрузка – нагружение ниже, чем при первом цикле;

- предел прочности образца при одноосном сжатии достигается при продольных деформациях сжатия, равных $\varepsilon_z = 0,3 \div 0,6 \%$ и поперечных $\varepsilon_r = 0,2 \div 0,5 \%$; т.е. при коэффициенте поперечной деформации, равном в среднем $\alpha = 0,78$.

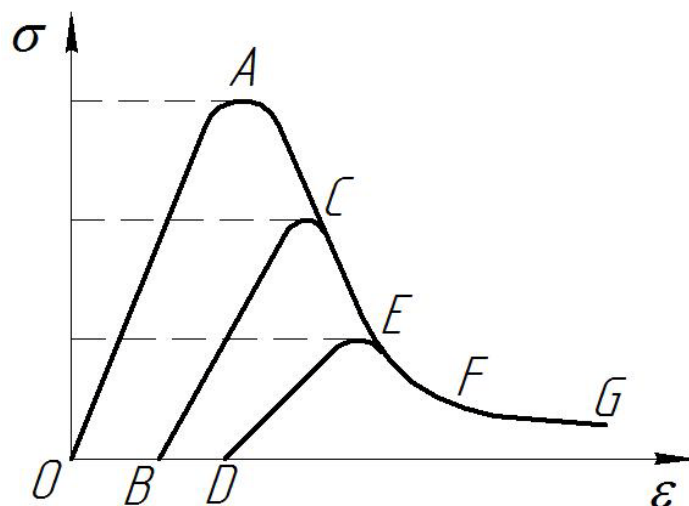


Рис. 1. Полная диаграмма деформирования образца горной породы с двумя циклами разгрузки и нагружения на ее запредельной ветви

Рассмотренная полная диаграмма деформирования породного образца может служить моделью процесса деформирования участка массива горных пород, который под влиянием тектонических сил был переведен на запредельный участок деформирования. Последующие разгрузки и нагружения нарушенного массива пород могли происходить как под влиянием новых тектонических процессов, так и под влиянием геомеханических процессов, происходящих при ведении горных работ, особенно при разработке свит угольных пластов. При этом в процессе разработки периоды нагружения могли сменяться на периоды сжатия.

Одним из основных параметров малоамплитудных нарушений является протяженность зон их влияния. Предложены многочисленные методы их определения [9, 13, 14, 15].

Остановимся на одном из них [13]. Предлагается протяженность зоны влияния малоамплитудного разрывного нарушения в почве L_n , выработки определять из выражения:

$$L_n = A(0,0017\beta - 0,017)^{-1}; \quad (6)$$

где A – амплитуда смещения пласта в нарушении, м;
 β – угол пересечения выработкой сместителя, градус.

А для расчета протяженности зоны в кровле $L_{кр}$, и боках L_b это выражение умножается соответственно на 2 и 3.

Следует заметить, что приведенные зависимости определяются без учета вмещающих выработку пород и глубины расположения выработки, что не совсем корректно. Отметим, что имеются методики определения протяженности зон влияния нарушений с учетом указанных и других (показатель нарушенности, уголь падения сместителя, модуль деформации пород и т.д.) факторов [9, 14, 15].

По результатам выполненного анализа малоамплитудных тектонических нарушений могут быть определены нерешенные научно-практические вопросы и намечены направления дальнейших исследований для их решения.

1. Разработка научных основ прогноза малоамплитудных нарушений. Исследования по этому вопросу целесообразно производить в следующих направлениях:

- изучение показателей, характеризующих состояние и свойства угольного пласта и боковых пород (см. табл. 1 и закономерности) с целью выявления наиболее информативных из них и установления критериальных значений;

- более глубокая проработка намечившегося направления прогноза на основе зависимости проявлений малоамплитудной нарушенности от крупных тектонических нарушений [16];

- разработка комплексного показателя прогноза на основе результатов этих направлений исследований.

2. Разработка методики определения коэффициента структурного ослабления пород в зонах влияния малоамплитудных нарушений в зависимости от горно-геологических условий, характеристики и параметров нарушений. Корректировка методов расчета смещений пород на контуре выработок в зонах нарушений с учетом дифференцированного коэффициента структурного ослабления.

3. Разработка модели напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработок в зонах малоамплитудных нарушений с учетом перехода пород в предельное и запредельное состояние, влияния тектонических подвижек и т.д.

4. Дифференциация состояния и изменчивости свойств пород в зонах влияния малоамплитудных нарушений в зависимости от расположения относительно плоскости сместителя.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / А.В. Анциферов. – Донецк: ООО «Алан», 2003. – 312 с.
2. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика / А.В. Миронов. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
3. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Родченко. – Донецк: ООО „Східний видавничий дім”, 2010. – 603 с.
4. Систематизация имеющегося материала по газовому давлению в угольных пластах Донбасса: Отчет НИР / МакНИИ; Рук. Ю.Т. Хорунжий. – работа № 21. – Макеевка, 1963. – 20 с.
5. Компанейцев А.Ю. Исследование влияния дизъюнктивных нарушений на конвергенцию подготовительных выработок на шахтах Российского Донбасса // Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2005. – 244 с. (с. 91-99).
6. СНиП – 94–80. Строительные нормы и правила. Ч.П. Нормы проектирования. Глава 94. Подземные горные выработки. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.
7. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.
8. П.Н. Должиков, Ю.И. Кобзарь, Ю.П. Должиков Об устойчивости горных выработок глубоких Антрацитовых шахт в содизъюнктивных зонах. // Науковий вісник НГУ, 2010, № 9 – 10.
9. Ткачев В.А., Компанейцев А.Ю. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Часть 1. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – 414 с. (с. 145-151).
10. Е.И. Кольчик, И.Е. Кольчик, В.И. Пилюгин. Влияние тектонической нарушенности на условия проведения и поддержа-

- ния пластовых выработок. – Донецк: ТОВ «Донецк-Вторма», 2007. – 184 с.
11. Глушко В.Т., Яланский А.А., Курносое А.Т., Паламарчук Т.А. Влияние геотектоники шахтного поля на горные работы и ее интерпретация. – Разработка месторождений полезного ископаемого на больших глубинах. К.: Техника, 1979. - С. 51-56.
 12. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.А. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
 13. Кольчик Є. І. Геомеханічне обґрунтування стійкості виїмкових виробок при інтенсивній підробці вугільних пластів. – Автореф. дис... д-ра наук: 05.15.02 // - Інститут фізики гірничих процесів НАН України, Донецьк, – 2007. – 32 с.
 14. Мирный В.В. Стягун А.В. Определение ширины зон влияния мелкоамплитудных разрывных нарушений. Разработка месторождений полезных ископаемых. № 67 / - Киев, «Техника», – 1984, с. 50-52.
 15. Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
 16. Белицкий А. А. К разработке методики прогноза нарушенности шахтных полей Кузбасса // Вопросы геологии Кузбасса. – Изд-во Томского университета, 1959. – Т. 99. – с. 280-295.