

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН
В ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ**

У даній статті викладені результати аналізу впливу параметрів тектонічних порушень типу скид на швидкісні, частотні й амплітудні характеристики інформативних хвильових пакетів при використуванні методу відбитих хвиль у шахтній сейсмічній розвідці гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів.

**EFFECT OF TECTONIC DISLOCATION PARAMETERS ON
WAVEFIELDS WHEN USING REFLECTION METHOD IN
UNDERGROUND SEISMICS**

The article gives the results of the analysis of the effect of the fault-type tectonic dislocation parameters on velocity, frequency and amplitude responses of the informative wave trains when using reflection method in underground seismics of mining-geological conditions of coal bed occurrence.

Процесс добычи угля является одним из наиболее сложных по сравнению с разработкой других полезных ископаемых. Он связан с решением множества проблем, возникающих под влиянием самых разнообразных факторов, главным из которых являются горно-геологические условия от которых зависят рентабельность производства, применяемые технологии, эффективность и безопасность труда. Непредвиденные встречи тектонических нарушений при отработке угольных пластов приводят не только к экономическим потерям, но и являются причиной аварийности и травматизма. Поэтому их опережающий и достоверный прогноз чрезвычайно актуален. Традиционные геологические методы прогноза не удовлетворяют требования угольной промышленности. Альтернативными и более перспективными являются геофизические методы, в частности, методы шахтной сейсморазведки [1,2].

Прогноз параметров тектонических нарушений угольных пластов сейсмоакустическим методом [1,2] представляет собой сложную задачу, решение которой зависит от множества факторов. В данной статье изложены результаты анализа влияния параметров тектонических нарушений типа сброс на скоростные, частотные и амплитудные характеристики информативных волновых пакетов при использовании метода отраженных волн (МОВ).

В результате проведенных в УкрНИМИ НАН Украины исследований было установлено, что характерные для Донбасса сейсмогеологические разрезы угольных пластов можно разделить на две группы, в первой из которых волновод формируется непосредственно угольным пластом, а во второй волновод формируется либо угольным пластом и залегающим в кровле либо в почве аргиллитом либо сближенными (на расстоянии не более 4 м) пластами [3]. На основе этого теоретический анализ структуры и характеристик волновых полей проводился на основе методов математического моделирования [4] для обеих групп.

Из геометрических соображений легко убедиться в том, что для оценки времени первого вступления верна следующая формула (приведен пример для боковой волны сжатия):

$$t_{p \text{ пор}} = 2 \frac{R}{V_{p \text{ пор}}} + 2l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{p \text{ пор}} - \bar{V}_{p \text{ аном}}}{V_{p \text{ пор}} \times \bar{V}_{p \text{ аном}}} \right), \quad (1)$$

где $t_{p \text{ пор}}$ – время первого вступления боковой волны сжатия, R – расстояние от источника колебаний до сместителя нарушения, $V_{p \text{ пор}}$ – скорость распространения волн сжатия в породе в ненарушенной зоне, $\bar{V}_{p \text{ аном}}$ – средняя скорость распространения волн сжатия в породе в зоне аномалии, $l_{\text{пор}}$ – ширина зоны повышенной трещиноватости пород. Выражения для иных типов волн можно записать аналогично (1):

$$t_{s \text{ пор}} = 2 \frac{R}{V_{s \text{ пор}}} + 2l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{s \text{ пор}} - \bar{V}_{s \text{ аном}}}{V_{s \text{ пор}} \times \bar{V}_{s \text{ аном}}} \right) \text{ (для боковых волн сдвига),} \quad (2)$$

$$t_{p \text{ пор}} = R \left(\frac{1}{V_{p \text{ пор}}} + \frac{1}{V_{s \text{ пор}}} \right) + \\ + l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{p \text{ пор}} - \bar{V}_{p \text{ аном}}}{V_{p \text{ пор}} \times \bar{V}_{p \text{ аном}}} + \frac{V_{s \text{ пор}} - \bar{V}_{s \text{ аном}}}{V_{s \text{ пор}} \times \bar{V}_{s \text{ аном}}} \right) \text{ (для обменных волн сдвига).} \quad (3)$$

Обработка данных, полученных в результате математического моделирования дает очень высокую степень соответствия времен прихода отраженных волн различных типов выражениям (1), (2) и (3). Для боковых волн сжатия отклонение не превышает 1–2 %, для остальных типов волн – 5%.

Вторые слагаемые в выражениях (1), (2) и (3) представляет задержку во времени прихода отраженных от сместителя волновых пакетов, вызванную наличием зоны трещиноватости. Поскольку расстояние до нарушения определяется по времени регистрации отраженных волн, используя данную величину можно оценить соответствующую погрешность:

$$\Delta R = 2l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{p \text{ пор}} - \bar{V}_{p \text{ аном}}}{\bar{V}_{p \text{ аном}}} \right) = 2l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{s \text{ пор}} - \bar{V}_{s \text{ аном}}}{\bar{V}_{s \text{ аном}}} \right) = \\ = +l_{\text{пор}} \left(\frac{V_{p \text{ пор}} - \bar{V}_{p \text{ аном}}}{\bar{V}_{p \text{ аном}}} + \frac{V_{s \text{ пор}} - \bar{V}_{s \text{ аном}}}{\bar{V}_{s \text{ аном}}} \right). \quad (3)$$

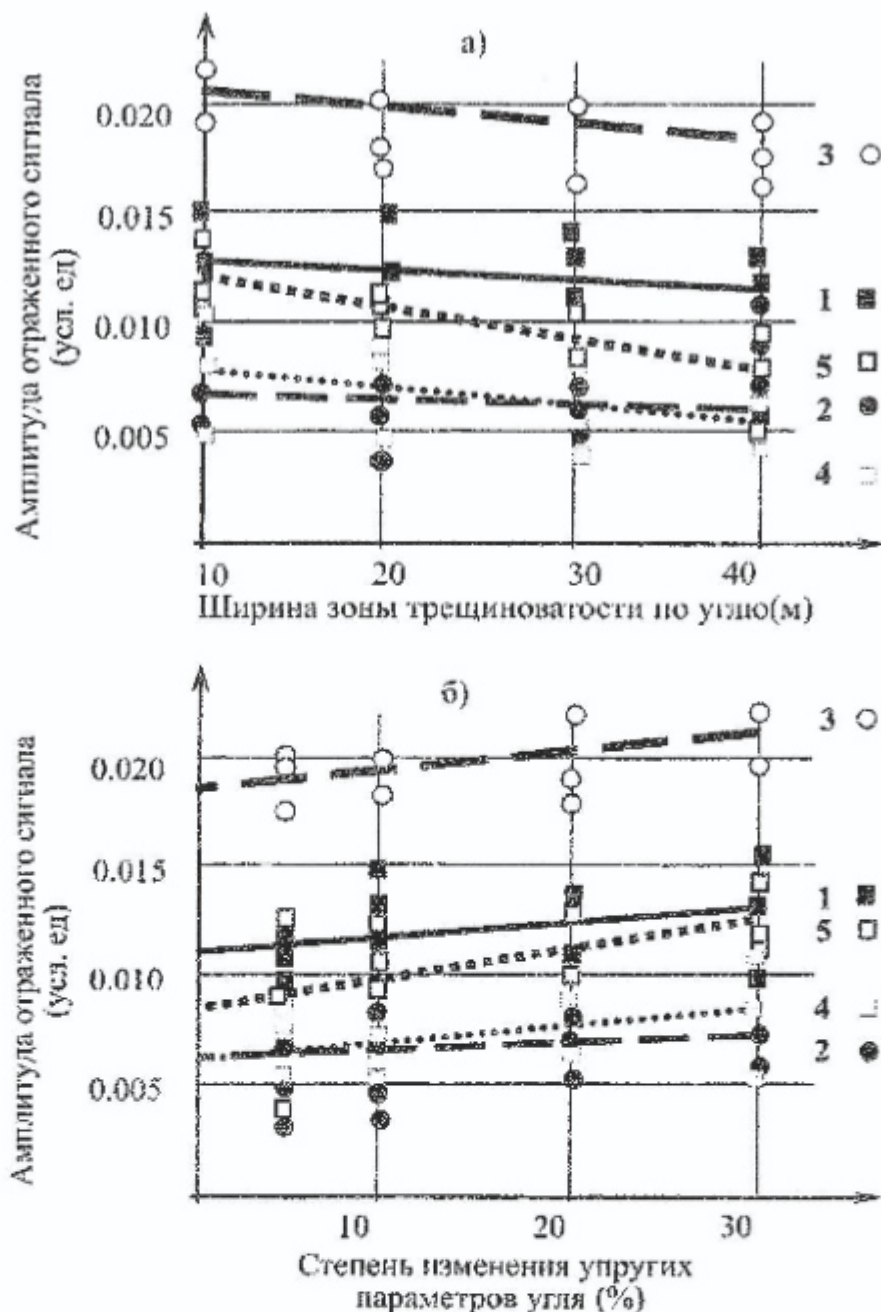
На рис. 1а представлены зависимости амплитуд отраженных волновых пакетов разных типов от степени изменения плотности и скоростных характеристик угля для тектонического нарушения типа сброс для углей марки Ж (ширина зоны трещиноватости составляет 10 м) для основных типов волновых пакетов. Расчеты проводились для значений изменений плотности и скоростных характеристик среды на 5 %, 10 %, 20 % и 30 %. Анализируя графики амплитуд отраженных волн для различных типов волновых пакетов можно сделать следующий вывод о том, что амплитуды боковых волн всех типов зависят от изменения физико-механических характеристик среды в зоне влияния нарушения типа сброс в меньшей степени, чем у каналových волн, образованных волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов) и у высокочастотных «хвостовых» частей волн сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов).

При этом рассчитанное в рамках используемой модели увеличение амплитуды отраженных боковых волн сжатия в среднем не превышает 10% на каждые 10 % изменения плотности и скоростных характеристик угля. Для обменной боковой волны сдвига и обычной боковой волны сдвига эта величина также составляет около 10 %. Для каналовой волны, образованной волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов) и высокочастотной «хвостовой» части волны сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов) эта величина может превышать 15 %.

Перейдем к рассмотрению влияния ширины зоны трещиноватости на амплитуду отраженного сигнала (см. рис. 1б). Расчеты проводились для значения изменения плотности и скорости распространения волн сжатия в зоне аномалии на 30 %, степень изменения скорости волн сдвига принималась равной 45 %. Ширина зоны трещиноватости варьировалась в пределах от 10 до 40 м. Как и в предыдущем случае, базовой функцией для аппроксимации была выбрана прямая. Рассмотрев графики, изображенные на рис. 1б можно сделать вывод:

- амплитуды боковых волн всех типов зависят от ширины зоны трещиноватости при зоне нарушения типа сброс слабее, чем каналовые волны, образованные волноводом сложного строения (для моделей, относящихся ко второй группе сейсмогеологических разрезов) и высокочастотные «хвостовые» части волн сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов).

Рассчитанное падение амплитуды отраженных боковых волн всех типов в среднем не превышает 3-5 % на каждые 10 метров пути по аномалии, (размеры аномалии измеряются по шпасту). Для каналовой волны, образованной волноводом сложного строения и высокочастотной «хвостовой» части волны сдвига эта величина может достигать 10-15 % и больше.

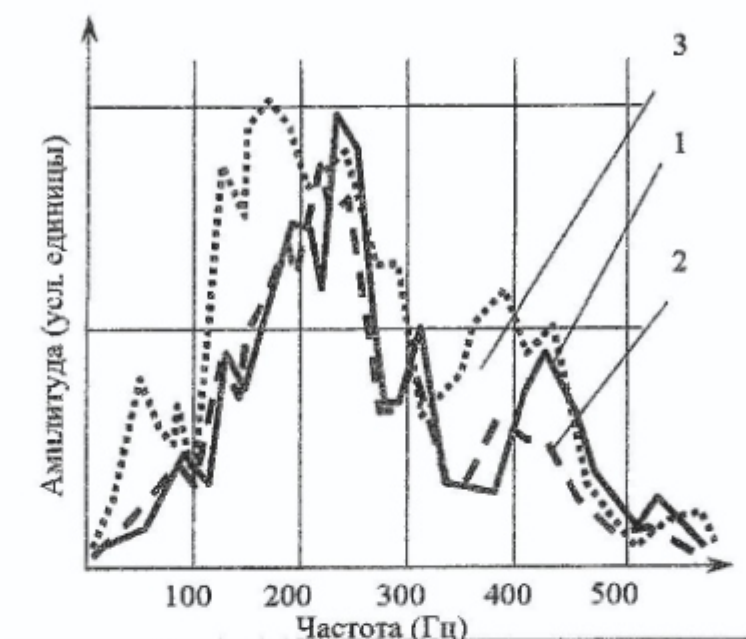


1) боковая волна сжатия, 2) обменная боковая волна сдвига, 3) боковая волна сдвига, 4) высокочастотная «хвостовая» часть волны сдвига (для моделей, относящихся к первой группе сейсмогеологических разрезов), 5) каналовая волна, образованная волноводом сложного строения (для пластов, относящихся ко второй группе)

Рис. 1 – Зависимость амплитуд отраженных волновых пакетов от ширины зоны трещиноватости (а) и степени изменения плотности и скоростных характеристик угля (б) при ширине зоны равной 10 м для тектонического нарушения типа сброс

На рис. 2 представлены усредненные частотные спектры теоретических сейсмограмм для волн, отраженных от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 10 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле равной 10 % (на рис. 2 соответствующий спектр обозначен цифрой 1), а также от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 30 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле, равной 30 % - 2). Кроме этого для сравнения представлен спектр

колебаний (3), распространяющихся по направлению к нарушению (для удобства сравнения положения максимумов масштаб амплитуды на рис. 2 изменен в 10 раз). Расчет производился для расстояния 40 м от источника на модели без аномальной зоны (чтобы не возникла погрешность за счет отражения от её границ). Это достаточное расстояние, при котором (по результатам расчетов) успевают сформироваться основные волновые пакеты.



1. Отражение от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 10 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле равной 10%.
2. Отражение от нарушения типа сброс с зоной трещиноватости шириной 30 м со степенью изменения плотности и скоростных характеристик в угле равной 30%.
3. Спектр исходных колебаний, распространяющихся по направлению к нарушению (для удобства сравнения положения максимумов масштаб амплитуды изменен).

Рис. 2 – Усредненные частотные спектры теоретических сейсмограмм для модели тектонического нарушения типа сброс

Данные спектры получены на моделях, соответствующей первой группе характерных сейсмогеологических разрезов. Присутствуют два основных максимума, один из которых лежит в низкочастотной области, другой – в области более высоких частот. Это объясняется тем, что, согласно ранее проведенным исследованиям [1, 2], для условий Донбасса характерны волновые пакеты, образованные боковыми продольными (с диапазоном частот от 50 до 200 Гц) и поперечными волнами (от 90 до 250 Гц) а также высокочастотными колебаниями (диапазон частот 150-500 Гц), которые являются структурными составляющими боковых волн сдвига и имеют характеристики близкие к каналовым волнам. В настоящей работе мы говорим об этом волновом пакете как о высокочастотной составляющей боковой волны сдвига. Боковые волны составляют первый из максимумов, а высокочастотные колебания – второй.

Сравнение частотных спектров показывает, что

- спектр отраженной части сигнала отличается от спектра падающей волны более значительным вкладом высоких частот;
- аномальная зона в наибольшей степени влияет на частотный спектр отраженной высокочастотной составляющей боковой волны сдвига и в наименьшей степени – на боковые волны.

Действительно, усредненный спектр падающей на нарушение волны имеет локальные максимумы на частотах 60 Гц, 170 Гц и 400 Гц. При наличии тектонического нарушения с незначительной по размерам (ширина по углу составляет 10м) и по степени изменения характеристик (10 %) зоной трещиноватости образуется отраженная волна значительно меньшей амплитуды (приблизительно $\frac{1}{10}$ от амплитуды падающей волны), в которой максимумы спектра располагаются на частотах около 230 Гц (боковые волны) и 430 Гц (высокочастотная составляющая боковой волны сдвига). Интересно, что низкочастотный локальный максимум отсутствует. Если тектоническое нарушение имеет зону трещиноватости шириной 30м и степень изменения плотности и скоростных показателей угла 30%, то отраженная волна (амплитудой приблизительно $\frac{1}{11}$ от амплитуды падающей волны) имеет максимумы спектра на частоте 215 Гц и 390 Гц. Таким образом, наблюдается смещение максимума амплитуды спектра боковых волн на 15 Гц, а максимум амплитуды спектра высокочастотной составляющей боковой волны сдвига - на 40 Гц.

Таким образом, в данной статье изложены результаты анализа влияния параметров тектонических нарушений типа сброс на скоростные, частотные и амплитудные характеристики информативных волновых пакетов при использовании метода отраженных волн (МОВ). Результаты данной статьи могут быть использованы специалистами в области шахтной и наземной сейсморазведки для разработки систем прогнозных критериев и усовершенствования методик сейсмического прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Н. Я., Яковлев Д. В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. - М.: Недра, 1988. - 199 с.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. - Донецк: ООО "Алан", 2002. - 312 с.
3. Анциферов А.В., Глухов А.А., Сейсмические волновые поля, регистрируемые на угольных пластах Донбасса при решении задач шахтной сейсморазведки/ 36. научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск: НГУ, 2005. - № 23. - С. 120 - 128.
4. Анциферов А.В. Математическое моделирование процесса прохождения сейсмических сигналов через тектонические нарушения угольного пласта // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ. - Вып.29. - 2001. - С. 90 - 97.