

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ МУЛЬДЫ В ЗАДАЧАХ ШАХТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

к.т.н. Анциферов А.В. (УкрНИИМН НАН Украины)

Полнота данных об угольном пласте – один из наиболее важных факторов, влияющих на эффективность процесса добычи угля подземным способом и снижающих как экономические показатели, так и безопасность ведения горных работ. Одним из самых надежных методов прогноза условий залегания угольных пластов является сейсмоакустический метод [1]. В данной статье на основе применения конечно-разностного метода математического моделирования (МКР) [2] рассмотрены некоторые особенности распространения сейсмоакустических сигналов через мульды, получены наиболее информативные характеристики волновых пакетов различной природы.

Очевидно, что геометрические характеристики мульды должны играть существенную роль при формировании рассеянной и отраженной частей волнового поля. Рассмотрим их, используя для наглядности рис. 1. Для упрощения задачи рассмотрим разрез мульды плоскостью, перпендикулярной

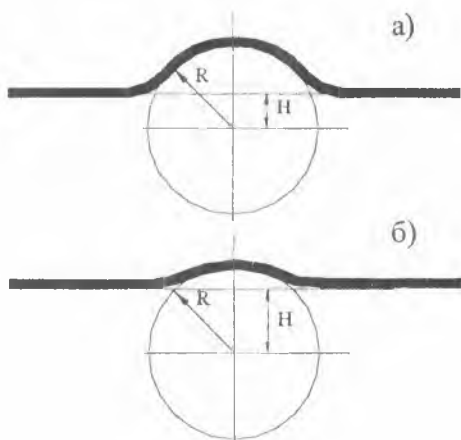


Рис. 1. Схематическое изображение основных размерностей мульды (в плоскости, перпендикулярной плоскости залегания пласта), принимаемых в расчет при математическом моделировании процесса распространения сейсмоакустического сигнала.

плоскости залегания пласта.

Во-первых, это радиус мульды R . Он является характеристикой, определяющей «степень искривления» угленосной толщи. Во-вторых, это расстояние H от центра «окружности» мульды до пласта (вернее, соотношение H/R). Эта величина определяет ряд важных факторов, и, в частности, угол α встречи пласта с мульдой (иными словами, угол изгиба волновода на границе с мульдой). Как видно из рисунка, для мульд с одним и тем же радиусом возможны совершенно различные изгибы волновода. Очевидно, что мульда, изображенная на рис. 1а будет гораздо в большей мере изменять параметры отраженного и рассеянного сигнала, чем та, что изображена на рис. 1б.

На границах мульды должно наблюдаться рассеяние таких колебаний во всех направлениях, поскольку достаточно резко изменяется конфигурация волновода (он искривляется под углом α). Причем, из очевидных соображений, рассеяние должно быть тем значительнее, чем меньше величина H/R . В самой мульде также следует ожидать рассеяния, формируемого изгибом, тем более сильным, чем меньше радиус мульды. Очевиден и следующий факт: низкочастотные части волновых пакетов (которые, как было показано в разделе, распространяются не только по пласту но и в прилегающих областях почвы и кровли), должны в большей мере «терять пласт» на криволинейных участках чем «внутрипластовые» высокочастотные. Следует ожидать незначительного смещения пиков частотных характеристик прошедших по мульде волновых пакетов в высокочастотную область.

Для мульд характерно отсутствие каких-либо существенных изменений физико-механических свойств пласта и пород в зоне изгиба, поэтому при анализе процесса рассеяния сейсмоакустических колебаний на мульде и их отражения достаточно ограничиться рассмотрением вариантов, отличающихся только своей геометрией.

На рис. 2 представлены наборы сейсмограмм, полученные для разных соотношений H/R (0,8, 0,75, 0,66), а на рис. 3 — соответствующие спектральные характеристики. Анализ теоретических сейсмограмм показывает, что для всех компонент волнового поля практически не наблюдается существенного изменения структуры сигнала. В то же время частотные характеристики сигнала заметно изменяются. Для Z и Y компонент волнового поля характерно некоторое сужение частотного спектра. Максимумы при этом практически остаются на прежнем месте. Для X компоненты характерно «расщепление» спектра на высокочастотную (около 300Гц) и сравнительно низкочастотную (около 200Гц) составляющие. Для X компоненты это может сопровождаться разделением единого пика колебаний боковых волн сдвига и головных волн на отдельные волновые пакеты с соответствующими доминирующими частотами. Данная особенность появления высокочастотного «звона» для X компоненты четко прослеживается на любых моделях мульд при соотношении $H/R < 0,7$, и, очевидно может быть предложена к использованию в качестве информативного критерия.

Рассмотрим изменение амплитуды сигнала, проходящего через мульду. В таблицах 1 и 2 приведены величины амплитуды для X и Y компонент волнового поля для различных значений радиуса мульды и отношения H/R .

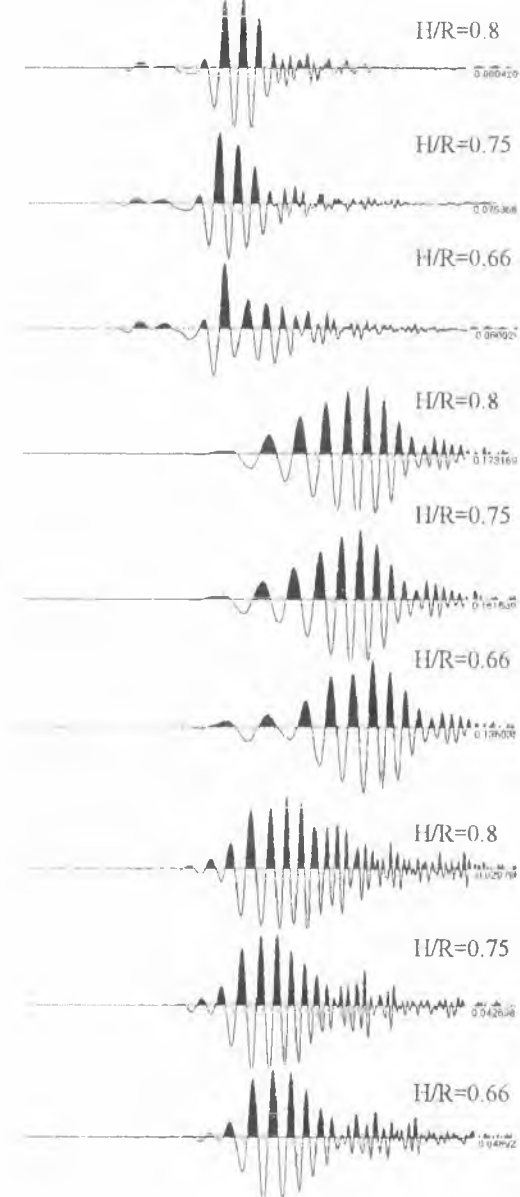


Рис. 2. Структуры теоретических сейсмограмм для разных значений H/R для мулды радиусом 25 метров.

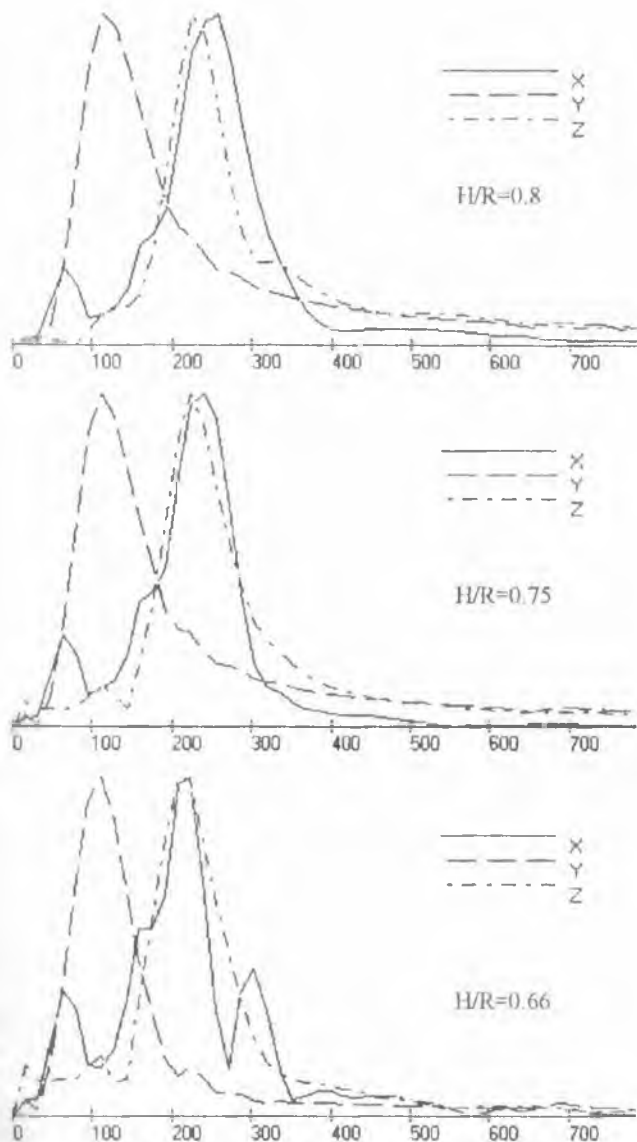


Рис. 3 Изменение частотного спектра сигнала при уменьшении соотношения H/R для мульты радиусом 25 метров.

Таблица 1. Амплитуды X компоненты рассеянной части сигнала для мульд с различными параметрами (в % от значения на ненарушенном пласте).

		Радиус мульды			
		100м	66м	35м	25м
H/R	0.8	84	77	73	88
	0.75	72	69	64	76
	0.66	59	60	51	60

Таблица 2. Амплитуды Y компоненты рассеянной части сигнала для мульд с различными параметрами (в % от значения на ненарушенном пласте).

		Радиус мульды			
		100м	66м	35м	25м
H/R	0.8	89.0	90.0	87.5	87.0
	0.75	82.0	81.5	82.5	80.5
	0.66	75.5	74.0	75.0	68.0

При этом наблюдается четкая тенденция падения амплитуды сигнала при уменьшении значения соотношения H/R. В наибольшей мере реагирует X компонента колебаний. При H/R=0.8 амплитуда уменьшается на 15-25%, а при H/R=0.66 - на 40-50%. Степень реагирования Y компоненты колебаний несколько слабее. При H/R=0.8 амплитуда уменьшается на 10-15%, а при H/R=0.66 - на 25-30%.

Теперь рассмотрим порождаемую мульдой отраженную волну. В таблицах 3 и 4 приведены величины амплитуды для Y и Z компонент отраженной волны для различных значений радиуса мульды и отношения H/R.

Таблица 3 Амплитуды Y компоненты отраженной части сигнала для мульд с различными параметрами (в % от возбужденного сигнала).

		Радиус мульды			
		100м	66м	35м	25м
H/R	0.8	1	1	Нет	Нет
	0.75	2	1	1	1
	0.66	3	2	1	2

Таблица 4. Амплитуды Z компоненты отраженной части сигнала для мульд с различными параметрами (в % от возбужденного сигнала).

		Радиус мульды			
		100м	66м	35м	25м
H/R	0.8	9	8	5	6
	0.75	13	11	8	14
	0.66	20	15	12	14

Представляет интерес тот факт, что теоретические расчеты практически не выявляют сколь-либо существенного отражения для X компоненты волнового поля. Для Y и Z компонент наблюдается увеличение амплитуды отраженного сигнала при уменьшении значения соотношения H/R . В наибольшей мере реагирует Z компонента колебаний. При $H/R=0.8$ амплитуда отраженного сигнала составляет от 5 до 10% от исходного, а при $H/R=0.66$ – от 10 до 20%. Степень регистрации Y компоненты колебаний значительно слабее. При $H/R=0.8$ амплитуда отраженной части колебаний не превышает 1% от амплитуды исходного сигнала, а при $H/R=0.66$ составляет от 1 до 3%.

Результаты, представленные в таблицах 5.10-5.13 не позволяют четко определить характер зависимости параметров отраженной и проходящей частей сигнала от радиуса мульды (при фиксированном значении H/R). Это связано со следующей причиной. Для больших значений R размерности мульды сравнимы с размерностями всей модели. Моделируемые неповрежденные участки пласта по обе стороны мульды уменьшаются. Особенно важно, что уменьшается участок перед мульдой, играющий чрезвычайно важное значение в формировании структуры и параметров сигнала, достигающего нарушения. Очевидно, именно из-за уменьшения участка перед мульдой в модели для Y и Z компонент рассчитанной отраженной волны наблюдается увеличение амплитуды при больших значениях R. С другой стороны, из чисто геометрических соображений можно утверждать, что для двух любых мульд:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

где L_1 – длина участка пласта в зоне нарушения. Соответственно, при увеличении радиуса мульды увеличивается фактический путь, пройденный сигналом. Этот факт может быть зарегистрирован при анализе сейсмограмм как соответствующее величине разницы пути «замедление» пакетов (точный момент скоростей первых вступлений рассчитанных с помощью МКР пакетов строго соответствует данной особенности).

На основе обобщения результатов математического моделирования разработаны прогнозные критерии определения параметров мульд, представленные в таблице 5.

Подводя итоги анализа результатов математического моделирования процесса прохождения сейсмических колебаний через мульду можно сделать следующие выводы:

- основным параметром мульды, влияющим на характеристики волновых пакетов сейсмоакустического поля является отношение расстояния от центра до центра окружности мульды к ее радиусу (H/R);
- на наличие мульд в большей мере реагируют X компонента продольных волн и Z компонента отраженных, которые можно рекомендовать для использования в натурных исследованиях;
- при малых значениях H/R (меньше 0.7) для X компоненты характерно

Таблица 5. Критерии прогноза мульд, полученные в результате математического моделирования.

H/R	Отраженные волны		Преломленные волны		
	Амплитуда Y компоненты (в % от исходного сигнала)	амплитуда Z компоненты (в % от исходного сигнала)	Частотная характеристика	Амплитуда Y компоненты (в % от случая без нарушения)	Амплитуда X компоненты (в % от случая без нарушения)
$H/R \geq 0.7$	<3	<15	Нет существенного изменения	<20	<40
$H/R < 0.7$	>3	>15	Характерное выделение высокочастотной составляющей X компоненты	>20	>40

«расщепление» спектра на высокочастотную (около 300Гц) и сравнительно низкочастотную (до 200Гц) составляющие;

– для мульд значительного радиуса с малым H/R в натурных экспериментах должно наблюдаться характерное «замедление» основных волновых пакетов по причине фактического увеличения длины пути сигнала вдоль искривленного пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений – М.: Недра, 1988.
2. Анциферов А.В., Захаров В.Н, Глухов А.А. Комплект программ моделирования процесса распространения сейсмических волн в угленосной толще // Каталог прогр. средств/ ГосФАП, М.1991, №50910000379.