© М.Г. Тиркель, 2006

УДК 550.834

М.Г. Тиркель

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Семинар № 3

Одно из генеральных направлений эксплуатации Донецкого бассейна заключается в освоении новых перспективных участков и глубоких горизонтов, что требует уточнения их тектонического строения. Тектоническое строение шахтных полей занимает главенствующее место в комплексе горно-геологичес-ких факторов, определяющих условия отработки угольных пластов от строительства предприятий до их ликвидации, является основой для принятия решений по оптимальной раскройке шахтных полей, выбору систем разработки и планированию горных работ [1, 2]. Традиционные методы исследования требует значительных затрат на бурение дополнительных разведочных скважин. Альтернативным геологической разведке, эффективным и более дешевым методом уточнения тектонического строения является наземная сейсморазведка [1, 2, 3], которая опирается на использование математического моделирования как средства выбора оптимальных условий для проведения натурных экспериментов и средства анализа результатов.

Целью настоящей статьи является анализ процессов взаимодействия сейсмических сигналов с тектоническими нарушениями угольных пластов в рамках применения метода томографии на волнах, отраженных от нижезалегающего горизонта [4, 5].

Для достижения поставленной цели были разработаны физико-математические модели, опирающиеся на типичные условия залегания угольных пластов Донбасса, учитывающие наличие аномалий различных типов.

При решении задачи моделируется участок сейсмогеологического разреза вдоль профиля общей протяженностью около 2500 м до глубины 1000 м. Песчаник располагается на глубине 700 м а другие породы (до 6) – между ним и зоной малых скоростей. Амплитуда тектонического нарушения варьировалась в пределах от 5 до 30 м (см. рис. 1). Серия сближенных мелкоамплитудных дизъюнктивов моделировалась единой зоной с аномальными значениями упругих характеристик. Изменение физико-механических параметров среды в зонах нарушений задавалось по ранее разработанной схеме [6] в пределах от 5 до 30 % от значений, соответствующих ненарушенной области. Ширина зоны варьировалась от 60 до 300 м.

На первом этапе были получены эталонные наборы сейсмограмм на моделях без нарушений. Для примера на рис. 2 приведены теоретические

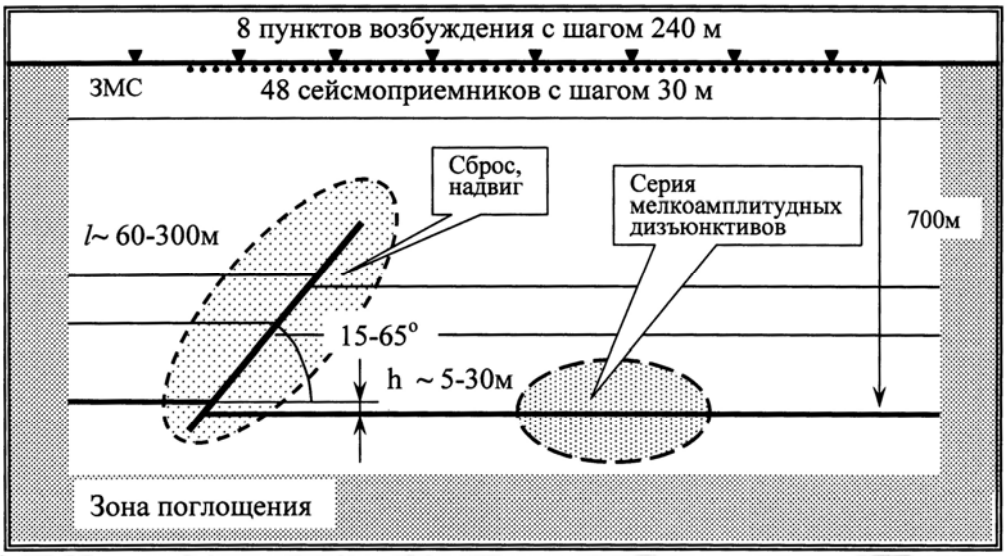


Рис. 1. Схема моделирования распространения сейсмических волновых полей в условиях, соответствующих обобщенным сейсмогеологическим разрезам с учетом аномалий различных типов

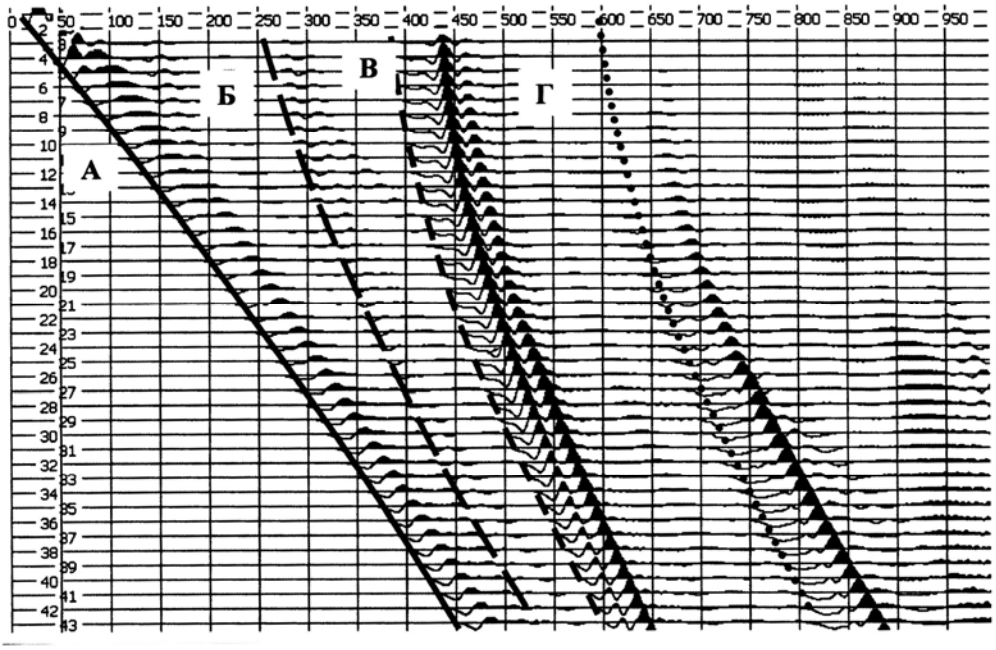


Рис. 2 Теоретические сейсмограммы, полученные для обобщенной сейсмогеологической модели угленосной толщи. Пункт возбуждения № 1

сейсмограммы, полученные для пункта возбуждения №1. Выделяются несколько основных пакетов колебаний. Среди них волна (А), распространяющаяся вдоль нижней границы наносов, волны, отраженные от слабых границ раздела (Б), интенсивная волна, отраженная от песчаника (В). Ниже рассмотрим их подробнее.

На теоретических сейсмограммах продольные волны (В), отраженные от резкой акустической границы, имеют очень высокую интенсивность. Более того, ярко проявляются отраженные от резкой акустической границы поперечные волны (Г). Волны, отраженные от неглубоко залегающей слабой акустической границы (Б) имеют срав-нительно меньшую интенсивность. На практике соотношение амплитуд между различными волновыми пакетами может быть иным. А наблюдение волн типа Г может быть только в идеальных условиях на малых глубинах.

Важен как в теоретическом, так и в методическом плане следующий момент: для данной модели вне зависимости от глубины залегания угольного пласта мощностью от 1 до 2 м, на теоретических сейсмограммах практически невозможно выделить отраженные от него колебания. Их амплитуда не превышает 2-3 % отраженных волн другой природы. Этот результат теоретически вполне ожидаем, поскольку мощность угольного пласта в десятки раз меньше полупериода сейсмических колебаний. В методическом плане это хорошо согласуется с применяемым на практике подходом, основанным на трассировке нарушений по отражениям от мощных слоёв песчаника. Кроме этого, в рамках настоящего анализа важен факт, что как в этом случае, так и во всех ранее описанных расчетах, основанных на типичных для Донбасса сейсмогеологических моделях, устойчиво наблюдается волна, отраженная от характерных мощных пластов песчаника, входящих в свиту пород, содержащих отрабатываемые в настоящее время угольные пласты. Её анализ без всякого сомнения может быть использован для обнаружения и описания тектонических нарушений угольных пластов.

Рассмотрим вопрос о влиянии тектонических нарушений на характер волнового поля и о возможности описания горно-геологических условий залегания угольных пластов путем анализа характеристик отдельных пакетов волн, отраженных от резких акустических границ. Математическое моделирование было направлено на анализ следующих вопросов:

1) Какова должна быть минимальная амплитуда нарушения, чтобы его можно было надежно детектировать методами наземной сейсморазведки?

2) Как влияет тип нарушения на характеристики регистрируемого волнового поля?

3) Как влияют размеры аномальной зоны и степень изменения физико-механических параметров в ней на характеристики регистрируемого волнового поля?

В рамках исследований моделировались процессы распространения сейсмических колебаний в угленосной толще, содержащей сбросы и надвиги как выходящие под покровные отложения, так и затухающие в массиве горных пород. Кроме этого моделировалась серия малоамплитудных дизъюнктивов. Были проведены исследования по возможности детектирования тектонических нарушений, характеризующихся зоной влияния с различной (от 5 до 30 %) степенью изменения физико-механических характеристик среды. Размеры зоны влияния нарушения варьировались от 60

Таблица 1

Зависимость усредненных отклонений характеристик отраженных волн от типа и параметров тектонических нарушений, рассчитанная для вариантов базовой модели с глинисто-песчаными породами, представленными в виде чередующихся слоев. Резкость акустической границы отражающего горизонта χ=0.85

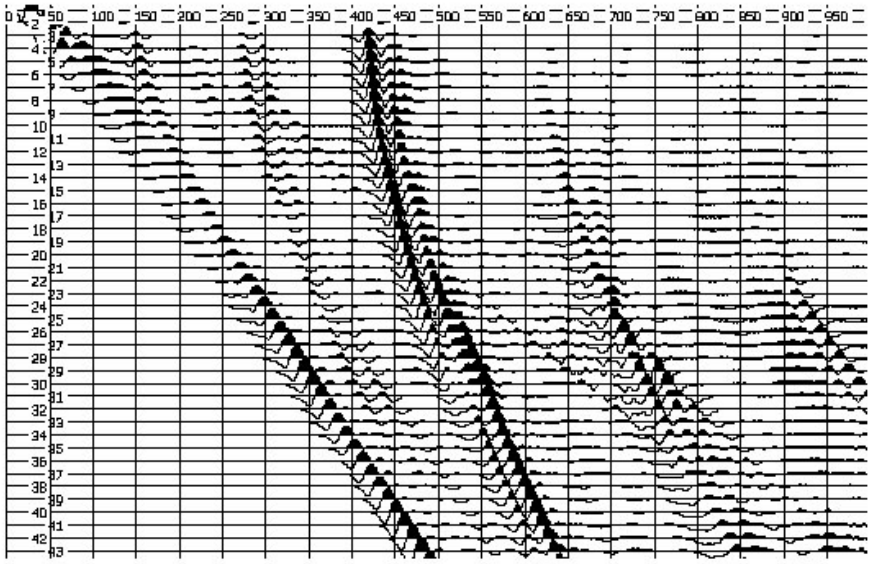
№	Тип нар.	ΔM (%)	*l|(h)* (м)	Умень-шение ам-плитуды (%)	Максим. изменение скорости (м/с)	Разрыв либо искривл. фронта волны	Максим. измен. часто-ты (Гц)
1	Сброс	5	60(10)	менее 5	не набл.	не набл.	не набл.
2		10	60(10)	менее 5	не набл.	не набл.	не набл.
3		20	60(10)	до 10	-10	не набл.	не набл.
4		30	60(10)	до 10	-10	не набл.	не набл.
5		5	150(20)	до 10	-15	+	(-) 3-5
6		10	150(20)	до 10	-15	+	(-) 3-5
7		20	150(20)	до 15	-20	+	(-) 7-8
8		30	150(20)	до 15	-20	+	(-) 7-8
9		5	300(30)	до 15	-35	+	(-)до 10
10		10	300(30)	до 20	-40	+	(-)до 10
11		20	300(30)	до 25	-50	+	(-)до 10
12		30	300(30)	до 25	-50	+	(-)до 10
11	Навиг	5	60(10)	до 10	не набл.	не набл.	не набл.
12		10	60(10)	до 10	не набл.	не набл.	не набл.
13		20	60(10)	до 15	±5	+	не набл.
14		30	60(10)	до 15	±5	+	(±)3-5
15		5	150(20)	до 15	±10	+	(±) 3-5
16		10	150(20)	до 15	±10	+	(±)3-5
17		20	150(20)	до 25	±15	+	(±)5-10
18		30	150(20)	до 25	±20	+	(±)5-10
19		5	300(30)	до 25	±25	+	(±)5-10
20		10	300(30)	до 25	±30	+	(±)5-10
21		20	300(30)	до 30	±40	+	(±)5-10
22		30	300(30)	до 40	±40	+	(±)5-10

Примечание: ΔM - степень изменения скорости продольных волн в зоне анаомалии, *l|(h)*- отношение размеров зоны трещиноватости к глубине залегания отражающего горизонта.

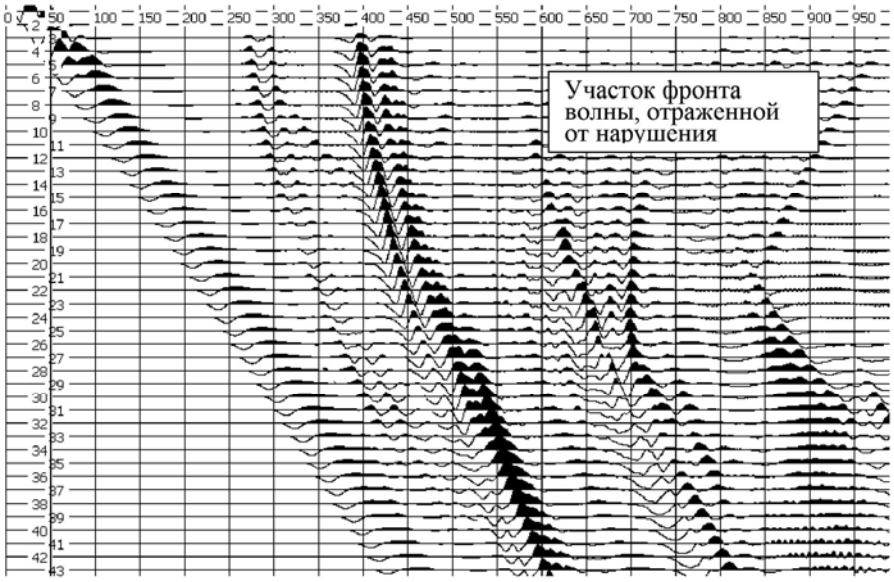
до 300 м. Результаты расчетов обобщены в таблице.

Расчеты показали, что аномалия любого типа, не сопровождающиеся значимой зоной изменения физико-механических характеристик среды (до 5 %) с амплитудой до 10 м не могут быть надежно выявлены. Установлено, что вне зависимости от того, по какому пути сейсмические колебания этом случае достигают системы наблюдений, отклонение скоростных и амплитудных характеристик волновых пакетов не превышает 10 %, что чрезвычайно ос-

ложняет возможность описания нару- шения.



а



б

Рис. 3. Теоретические сейсмограммы, полученные для обобщенной модели сброса (а) и надвига (б). Ширина зоны трещиноватости 120 м. Степень изменения физико-механических свойств среды в зоне нарушения равна 20 %. Амплитуда нарушения 12 м. Пунктиром обведен участок фронта волны, отраженный от резкой акустической границы в зоне нарушения

При исследовании влияния степени изменения физико-механических характеристик среды на параметры волнового поля чрезвычайно важно принять во внимание тип нарушения. На рис. 3 для сравнения приведены наборы теоретических сейсмограмм (пункт возбуждения № 1), полученные для обобщенной модели сброса (а) и надвига (б). Ширина зоны трещиноватости в обоих случаях составляла 120 м, а степень изменения физико-механических свойств среды – 20 %. Амплитуда нарушения – 10 м.

Характер изменения физико-механических свойств вблизи сместителя существенно различается для сбросов и надвигов, что обуславливает некоторые характерные особенности резистрируемых сейсмограмм.

Благодаря асимметрии в степени изменения физико-механических характеристик среды у надвига, он представляет собой более резкую в акустическом плане аномалию, чем сброс. Это влечет за собой формирование сравнительно более интенсивной волны, отраженной от зоны надвига. Проведенные расчеты показали, что амплитуда отраженной от аномалии волны для сброса в 2-5 раз меньше, чем у надвига. Различие это проявляется в тем большей степени, чем сильнее степень изменения физико-механических свойств вблизи сместителя. Рис. 3 иллюстрирует этот факт. Поскольку изменение характеристик волнового поля у сброса задано плав-ной, симметричной относительно сместителя функцией, мы практически не наблюдаем отраженного от него сигнала (см. рис. 3, *а*). В то же время в зоне сместителя у надвига присутствует резкий скачек характеристик на величину до 40 %. В результате на сейсмограммах четко проявляются отраженные волны (см. рис. 3, *б*). Еще лучше эта особенность просматривается на теоретических сейсмоакустических разрезах, полученных для аналогичных моделей (см. рис. 4). Данный пример интересен еще и следующей особенностью. Несмотря на то, что амплитуда сброса всего 5 м, он формирует отраженный сигнал. Этот факт иллюстрирует возможность детектирования нарушений с любой амплитудой в том случае, если таковые сопровождаются существенной зоной изменения физико-механичес-ких параметров. Были проведены теоретические исследования более чем на 20 моделях. Они показали, что вне зависимости от амплитуды разрывного нарушения (вплоть до 0), таковое может формировать существенный отраженный сигнал при степени изменения характеристик 10-20 % (для сброса) и 5-10 % (для надвига).

Кроме этого численные эксперименты показали следующую особенность. Асимметрия в степени изменения скоростных характеристик среды по обе стороны от сместителя у надвигов приводит к специфическому раздвоению участка фронта отраженной от нижележащих пород и распространяющейся вдоль нарушения волны. Для удобства сравнения соответствующие участки сейсмограмм для сброса и надвига на рис. 3 обведены пунктиром. Степень раздвоения фронта волны тем больше, чем больший путь она проходит вдоль нарушения. Такая особенность формирования фронта волны неоднократно наблюдалась специалистами УкрНИМИ на практике.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать ряд выводов:

- аномальные зоны в горно-геологических условиях залегания угольных пластов могут быть детектированы с помощью метода наземной сейсморазведки на волнах, отраженных от нижерасположенного горизонта путем анализа амплитудных и скоростных

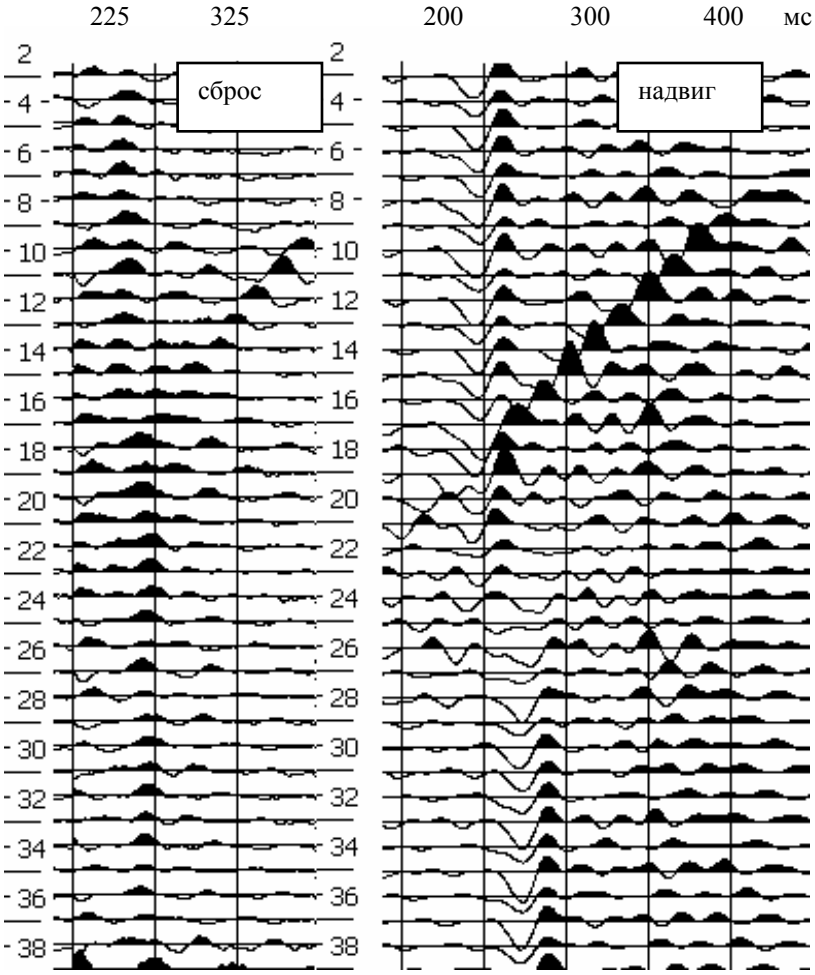


Рис. 4 Участки теоретических сейсмограмм, полученных для обобщенных моделей сброса и надвига при использовании возбуждения колебаний цепью источников. Ширина зоны трещиноватости в обоих случаях 80 м. Амплитуда сброса – 5 м, надвига -30 м

характеристик соответствующих волновых пакетов;

- зоны сбросов могут быть выявлены по уменьшению скорости упругих волн и уменьшению амплитуды сигналов (амплитуды пропорционально ширине зоны трещиноватости и степени изменения физико-механических свойств вблизи сместителя), вплоть до их полного исчезновения, снижению частоты сигнала;

- надвиги могут быть выявлены по уменьшению амплитуды сигналов (амплитуды пропорционально ширине зоны трещиноватости и степени изменения физико-механических свойств вблизи сместителя), вплоть до их полного исчезновения, снижению частоты сигнала. Асимметрия в степени изменения скоростных характеристик среды по обе стороны от сместителя у надвигов приводит к специфическому раздвоению

участка фронта отраженной от нижележащих пород и распространяющейся вдоль нарушения волны;

- зоны серии мелкоамплитудных разрывов по уменьшению скорости сигнала, уменьшению амплитуды сигналов и уменьшению частоты.

Полученные результаты актуальны для разработки новых методов прогноза аномалий в горно-геологичес-ких условиях залегания угольных пластов, что повысит надежность и эффективность проведения сейсмоакустических исследований на шахтах Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хохлов М.Т., Харитонов О.М., Трифонов П.Г., Козельский И.Т., Байсарович М.Н.* Многоволновые сейсмические исследования угольных месторождений Донбасса. - К.: Наукова думка, 1990. - 132 с.

2. *Goldin S.V.* Ray reflection tomography: Review and comments // Proceedings of the fourth International Symposium held in Novosibirsk (Russia) on 10-14 Aug. 1994, VSP, The Netherland, 1995, p. 169-187.

3. *Гречухин В.В.* Изучение угленосных формаций геофизическими методами. - М.: Недра, 1980. - 360 с.

4. *Тиркель М.Г, Глухов А.А.* Теоретичечское обоснование нового способа описания аномалий при сейсмическом прогнозе строения горного массива / Проблеми гірського тиску. Під заг. ред. О.А. Мінаєва.-Донецьк, ДонДТУ, ДонВГО, 2004.- №11. - С.29-41.

5. *Тиркель М.Г, Глухов А.А.* Томография на отраженных волнах при сейсмическом прогнозе строения горного массива / Проблеми гірського тиску. Під заг. ред. О.А. Мінаєва.-Донецьк, ДонДТУ, ДонВГО, 2004. - №12. - С.14-25.

6. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. - Донецк.: изд. «Алан», 2002, - 312 с.

Коротко об авторах

Тиркель М.Г. – УкрНИМИ, Донецк, Украина.