© А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, А.И. Компанец, 2005

УДК 622.831.3

А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, А.И. Компанец

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Семинар № 13

Одним из сдерживающих факторов повышения эффективности подземной добычи угля на больших глубинах является напряженно-деформированное состояние углепородного массива. Поле напряжений, сформированное толщей вышележащих пород, не является однозначным в пределах угольного пласта и изменяется под действием различных факторов, достигая местами аномальных значений.

Наличие зон аномальных напряжений в разрабатываемом пласте обусловлено как влиянием геологических факторов (тектонические нарушения, геологические неоднородности), так и влиянием горно-техни-ческих условий (подработка, надработка, целики, капитальные выработки и т.д.) и требует своевременного изменения технологических параметров разработки. Кроме этого наличие локальных аномальных напряжений в разрабатываемом угольном пласте, является одним из основных факторов проявления газодинамических явлений и горных ударов. Однако, если аномальные напряжения, связанные с технологией выемки угля, могут быть прогнозированы путем инженерных расчетов, то генетические аномалии напряжений могут быть обнаружены только опережающим бурением скважин или геолого-геофизическими методами.

Повышение эффективности разработки угольных пластов и мер безопасности возможно только при наличии полной информации о положении зон аномальных напряжений и их относительной количественной оценке.

Наиболее перспективным методом исследований, позволяющим получать информацию о напряженном состоянии угольного пласта и вмещающих пород, является метод шахтной пластовой сейсморазведки и в частности, метод сейсмического просвечивания. Рассмотрим результаты экспериментальных исследований напряженного состояния угольного пласта l_1 на участке 5-й западной лавы шахты им. А.Ф. Засядько.

Методика исследований была направлена на учет динамики развития и движения техногенных зон аномалий напряженного состояния в исследуемом угольном пласте. Идея исследования распределения зон аномалий заключалась в регистрации параметров волнового поля в углепородном массиве, сначала вне зоны влияния опорного давления, а затем, по мере подвигания очистного забоя – в зоне опорного давления. Инструментальная оценка изменения напряженного состояния массива производилась специальными скважинными деформометрами, представляющими собой конус из эпоксидной смолы, с залитыми в ней тензорезисторами.

Оценка зон опорного давления осуществлялась путем сопоставления показаний скважинных деформометров и параметров волнового поля, зарегистрированных сейсмостанцией. Сравнительная оценка изменения напряженного состояния массива и параметров волнового поля позволила выделить наиболее информативные параметры.

Сейсмическое просвечивание осуществлялось по исследуемому пласту между вентиляционным и конвейерным штреками, ширина выемочного столба – 200 м. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось из конвейерного штрека при помощи накапливания серии ударов, а прием – при помощи скважинных двухкомпонентных геофонов. Для регистрации сейсмических волн использовалась двенадцатиканальная шахтная цифровая суммирующая сейсмостанция. Одновременно регистрировались колебания, поляризованные в вертикальной плоскости (Z – компонента) и в плоскости пласта (X – компонента).

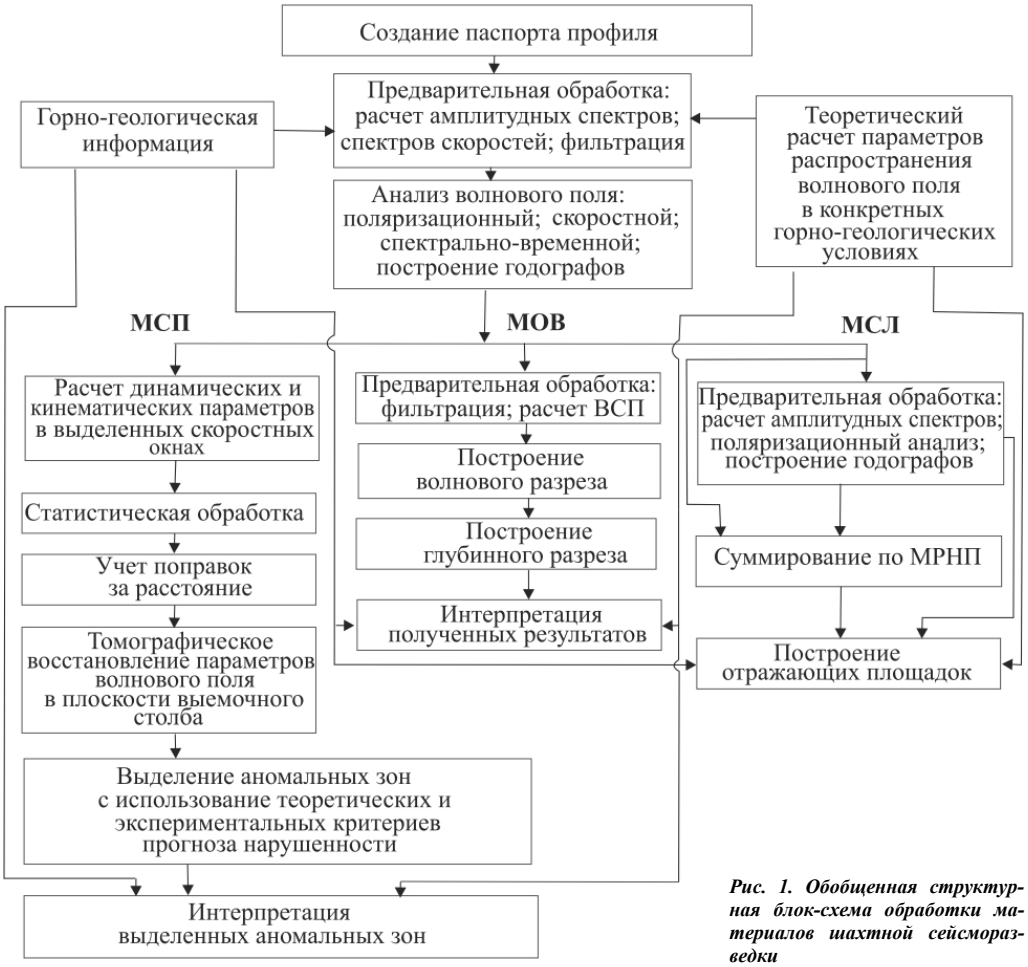

Рис. 1. Обобщенная структурная блок-схема обработки материалов шахтной сейсморазведки

Регистрация поля напряжений и сейсмическое просвечивание угольного пласта осуществлялось в три этапа. Первый этап – регистрация параметров на участке лавы, находящемся вне зоны влияния горных работ (расстояние до ближнего геофона – 190 м). Второй этап и третий этапы – регистрация параметров на участке лавы, находящемся в зоне влияния горных работ (расстояние до ближнего геофона – 50 м и 16 м).

В дальнейшем при сопоставлении результатов исследований на указанных этапах производилось выделение информативных параметров волнового поля с использованием дисперсионного анализа и установление зависимости параметров волнового поля от поля напряжений.

Обработка материалов сейсмического просвечивания производилась с использованием оригинального комплекса обрабатывающих программ «КРОТ» (рис. 1).

Анализ изменения напряженного состояния угольного массива зарегистрированного скважинными деформометрами позволил сделать следующие выводы. Эпюры вертикальных и горизонтальных напряжений соответствуют общепринятым представлениям о распределении опорного давления впереди очистного забоя (рис. 2, *а*, *б*). Максимум опорного давления зарегистрирован на расстоянии 16 м от линии очистного забоя, а на расстоянии 26 м от линии очистного забоя зарегистрирована зона пониженных вертикальных напряжений. На расстоянии 60-70 м от линии забоя наблюдается стабилизация напряжений. Горизонтальные напряжения представляют меньшую по амплитуде знакопеременную зону, где сжимающие

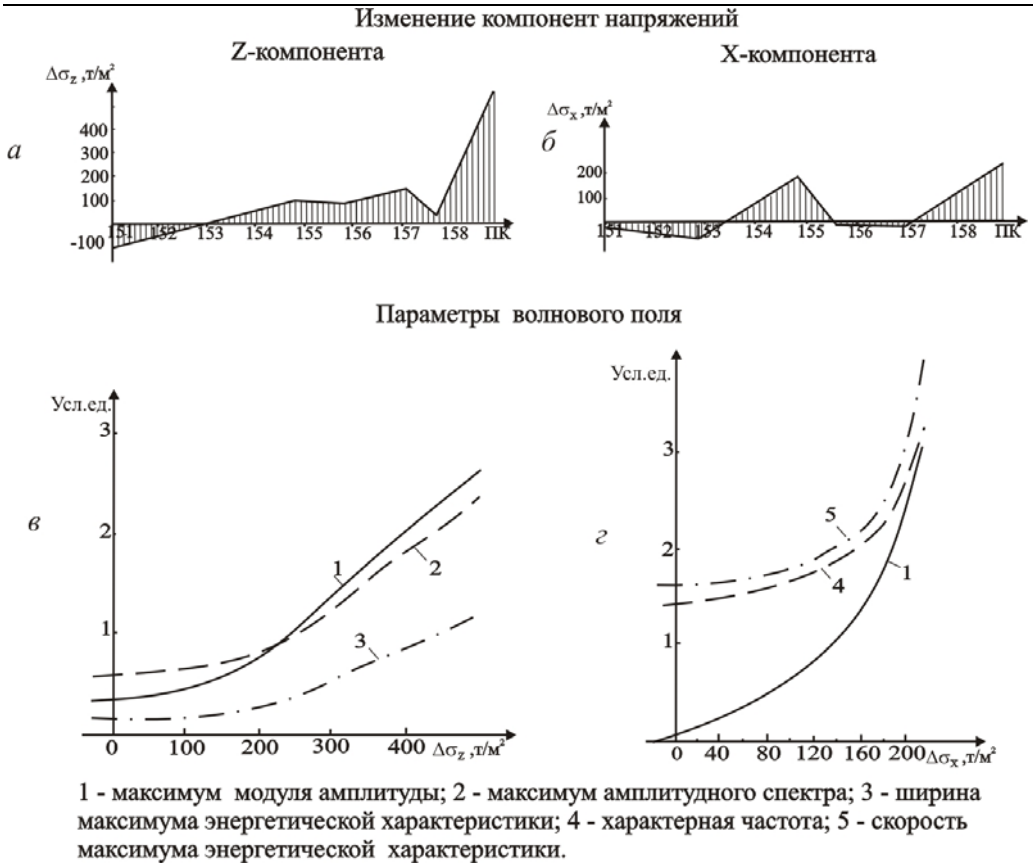

Рис. 2. Зависимость параметров волнового поля от величины напряжений: а, б – вертикальная и горизонтальная составляющие поля напряжений; в, г – изменение параметров волнового поля от вертикальных и горизонтальных напряжений

напряжения переходят в растягивающие на расстоянии 35-50 м от линии забоя с дальнейшим максимумом на расстоянии 55 м.

Анализ эпюр напряжений и зон повышенной шумности показывает их соответствие в пространстве, что подтверждает правильность применяемых методических приемов.

Неидентичность приема и возбуждения упругих колебаний на различных этапах исследований не позволила сделать сравнение динамических параметров волнового поля, но на каждом этапе оказалось возможным провести сравнительный анализ на основании специфики распределения поля напряжений, заключающейся в том, что зона влияния опорного давления составила 15–20% от всей площади исследуемого участка.

После сравнительного анализа параметров всех типов волн, зарегистрированных по X и Z компоненте, оказалось, что наиболее информативной к вертикальным напряжениям в угольном пласте является Z -компонента каналовой волны, а к горизонтальным напряжениям – X- компонента каналовой волны.

Информативными параметрами Z-компоненты каналовой волны относительно поля вертикальных напряжений являются:

- максимум модуля амплитуды;
- ширина максимума амплитудного спектра;
- максимум амплитудного спектра.

Кинематические параметры волнового поля оказались не достаточно информативными, в большинстве случаев в аномальных зонах их изменение не превышали уровня фона.

Количественная оценка получена по результатам построения зависимости значений сейсмических параметров по Z-компоненте каналовой волны от величины вертикальных напряжений $\Delta\sigma_z$ (рис. 2, *в*). На графике отмечает-

ся устойчивая зависимость между приведенными параметрами волнового поля и $\Delta\sigma_z$. Имеющееся количество замеров недостаточно для

для получения корреляционных зависимостей, но приведенных данных вполне достаточно для вывода о информативности выбранных параметров и наличии связи между параметрами волнового поля и вертикальными напряжениями в угольном пласте.

Анализ результатов распределения поля горизонтальных напряжений и параметров волнового поля дает возможность сделать заключение о связи X-компоненты каналовой волны с аналогичными значениями поля горизонтальных напряжений в угольном пласте. Информативными параметрами X-компоненты каналовой волны относительно поля горизонтальных напряжений являются:

- максимум модуля амплитуды;
- скорость максимума энергетической характеристики;
- характерная частота в спектре сигнала.

Количественная оценка зависимости значений сейсмических параметров X- компоненты каналовой волны от величины горизонтальных напряжений $\Delta\sigma_x$ представлена на рис. 2, *г*. Результаты шахтных исследований хорошо согласуются с результатами, полученными при математическом моделировании. Увеличение напряжений, как горизонтальных, так и вертикальных, влияет на параметры волнового поля. Наиболее информативными параметрами являются:

- максимум модуля амплитуды;
- ширина максимума амплитудного спектра;
- характерная частота в спектре сигнала;
- скорость максимума энергетической характеристики.

Получить зависимости между изменениями параметров волнового поля и изменением напряжений в угольном пласте оказалось затруднительным из-за невозможности соблюдения идентичности условий возбуждения и приема упругих колебаний при проведении различных этапов сейсмопросвечивания.

Таким образом, результаты комплексных натурных исследований в выемочном столбе шахты им. А.Ф. Засядько показали, что наибольшее влияние на вертикальную Z-компоненту волнового поля оказывают вертикальные напряжения в угольном пласте, а горизонтальные напряжения в большей степени оказывают влияние на горизонтальную X-компоненту волнового поля. Наиболее информативными оказались динамические параметры волнового поля.

Проведенный комплекс исследований в различных горно-геологических условиях угольных шахт показал, что отсутствует возможность установления универсальной регрессионной зависимости между параметрами напряженного состояния угольного пласта и параметрами волнового поля.

В результате проведенных экспериментов был установлен комплекс параметров волнового поля наиболее информативный для решения поставленной задачи. Он включает ряд динамических параметров упругой волны: энергия, амплитуда и производные от них, а в отдельных случаях спектральные характеристики – частота максимума амплитудного спектра, характерная частота сигнала.

Применение кинематических параметров упругих волн является малоэффективным для получения количественных зависимостей между параметрами напряженного состояния угольного пласта и параметрами волнового поля.

...

Коротко об авторах

Анциферов Андрей Владимирович – доктор технических наук, директор,
Тиркель Михаил Годелевич – кандидат технических наук, зам. директора по научной работе,
Компанец Александр Иванович – зав. лабораторией геофизических исследований,

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела (УкрНИМИ НАН Украины), г.Донецк, Украина.