

УДК 550.8:622.831

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО ГОРНОГО МАССИВА ПО ПАРАМЕТРАМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ОТРАЖЕНИЙ

Анциферов А. В., Трифонов А. С., Тиркель М. Г.,  
Туманов В. В.

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*У статті проаналізовано особливості прояву у параметрах відбитих сейсмічних хвиль зміни напруженого стану підроблюваного гірського масиву під час його зондування із земної поверхні.*

*Features related to the response of the changes in the stress-deformed state of rock mass being undermined when it is being sounded from the surface are analyzed.*

Формирование в подрабатываемом горном массиве при отработке угольного пласта геодинамически опасной ситуации преимущественно (помимо факторов тектонического характера) обусловлено локализацией повышенных напряжений на ограниченном участке пласта вблизи очистного забоя. Образующаяся с подвиганием забоя консольная структура пород основной кровли предопределяет, по мере возрастания длины консольной части наиболее мощных и крепких породных слоев (как правило, песчаников), значительное повышение напряжений в массиве в области защемления консоли [1-3]. Эти напряжения, проявляющиеся в угольном пласте в виде областей повышенного давления, охватывают также и всю вышележащую породную толщу, включая покровные отложения [4]. Геотектоническое разнообразие строения углевмещающего массива (особенно в относительной близости крупных разрывных нарушений) предопределяет сложность

геомеханических процессов при его подработке и опасность их проявления в виде динамических событий.

Применительно к оценке изменения напряженного состояния над областью очистных работ в 2008 году на шахте «Красноармейская-Западная № 1» над 1-ой северной лавой блока 3 (пласт  $d_4$  мощностью  $\sim 1,5$  м на глубине  $\sim 570$  м) проводились режимные исследования по сейсмическому зондированию подрабатываемого массива с земной поверхности. В этих наблюдениях использовались четыре пункта зондирования, расположенные на прямолинейном профиле (см. рис. 1, где контуры горных выработок указаны в проекции на земную поверхность) с возбуждением и приемом сейсмических сигналов на трехметровой базе в скважинах глубиной до  $\sim 1,2$  м.

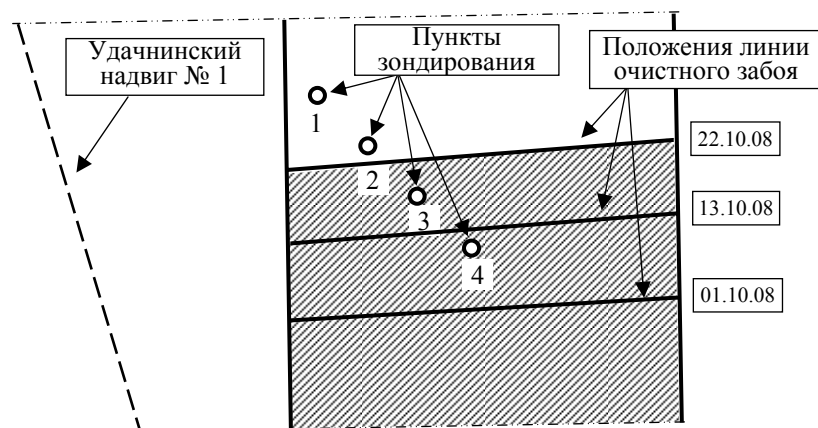


Рис. 1. Схема режимных наблюдений по сейсмическому зондированию над 1-ой северной лавой блока 3 шахты «Красноармейская-Западная № 1» (М 1:5000)

В качестве исследуемого параметра анализировались энергетические показатели сейсмических отражений во временном диапазоне до 500 мс, который с учетом средней скорости распространения продольных волн в исследуемом массиве ( $\sim 2500$  м/с по данным сейсмогеологической модели) обеспечивал зондирование до глубины порядка 600 м.

Для корректной оценки энергетических показателей сейсмических отражений их значения нормировались в каждом цикле наблюдений к энергии прямого сигнала, распространяющегося от источника к приемнику в виде прямых продольных и поверхно-

стных волн. Наряду с многократным суммированием сейсмических сигналов (до 60 накоплений в каждом зондировании), эта процедура обеспечивала устранение из анализируемых сигналов неоднозначности, связанной с разбросом по мощности возбуждаемых сейсмических импульсов. Следует отметить, что прямой сигнал в процессе режимных наблюдений претерпевал определенные изменения, которые в основном проявлялись в его кинематических показателях (см. рис. 2). Достаточно существенные (до 15-20 %) изменения скорости прямого сигнала на базе 3 м отображают проявления напряжений в приповерхностной части массива. При этом энергия прямого сигнала от цикла к циклу изменялась незначительно (не более чем на 10 %) и, возможно, это связано с изменением мощности возбуждения, поскольку этот показатель прямого сигнала, с учетом разброса значений мощности источника, оценить можно только приблизительно. Вместе с тем волновая структура прямого сигнала по всем циклам наблюдений оставалась практически неизменной в каждом пункте зондирования, и это обстоятельство свидетельствует о незначительности погрешности оценки энергетических показателей сейсмических отражений при их нормировании к энергии прямого сигнала.

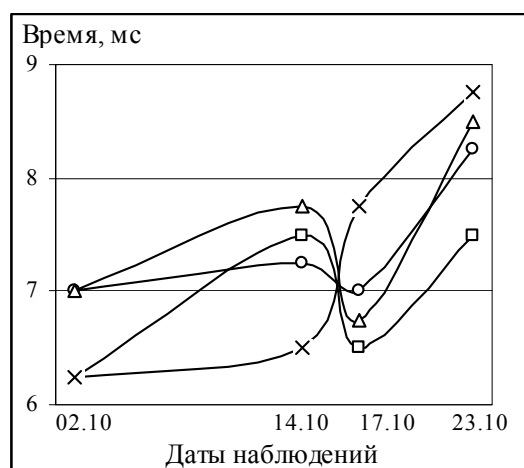


Рис. 2. Характер изменения в процессе режимных наблюдений времени вступления прямых продольных волн в пунктах зондирования 1, 2, 3 и 4 (соответственно графики с символами - о, □, Δ, x)

На рис. 3 показаны графики изменения в процессе режимных наблюдений энергетических показателей отраженных сейсмических волн (с нормированием значений энергетических показателей для каждого пункта зондирования по максимальному значению в этом пункте для четырех циклов наблюдений) во временных диапазонах 125-200 мс, 200-300 мс, 300-400 мс и 400-500 мс. Наиболее выраженные изменения анализируемого показателя проявляются в третьем пункте зондирования во временном диапазоне 125-200 мс (см. на рис. 3-в график с символами - ○) с возрастанием более чем втрое энергии отражений в этой области массива от первого ко второму циклу наблюдений (02.10.08 - 14.10.08). Столь значительные изменения энергии отражений характеризуют процесс значительного роста напряжений в массиве почти во всем диапазоне зондируемых глубин (см. на рис. 3-в графики с символами ○, □, Δ). При этом возрастание энергетического показателя связано в большей степени с изменением упругих констант пород, закрытием трещин и, возможно, частично с повышением контрастности отражающих границ на стыках блочных структур вследствие их взаимных смещений.

Последующее резкое снижение также почти втрое энергетического показателя к третьему циклу наблюдений (17.10.08) может быть объяснено только масштабной динамической разгрузкой массива с обрушением пород и практически полной деструкцией отражающих границ к четвертому циклу наблюдений (23.10.08).

Во временном диапазоне 400-500 мс, соответствующим отражениям с глубин 500-600 м, снижение энергетических показателей отражений (см. на рис. 3-в график с символом - x) ко второму циклу наблюдений (14.10.98) характеризует постепенное развитие на уровне угольного пласта, непосредственной и основной кровли обширной трещиноватости и, возможно, локального расслоения пород в области очистной выработки в результате прогиба консольной части основной кровли.

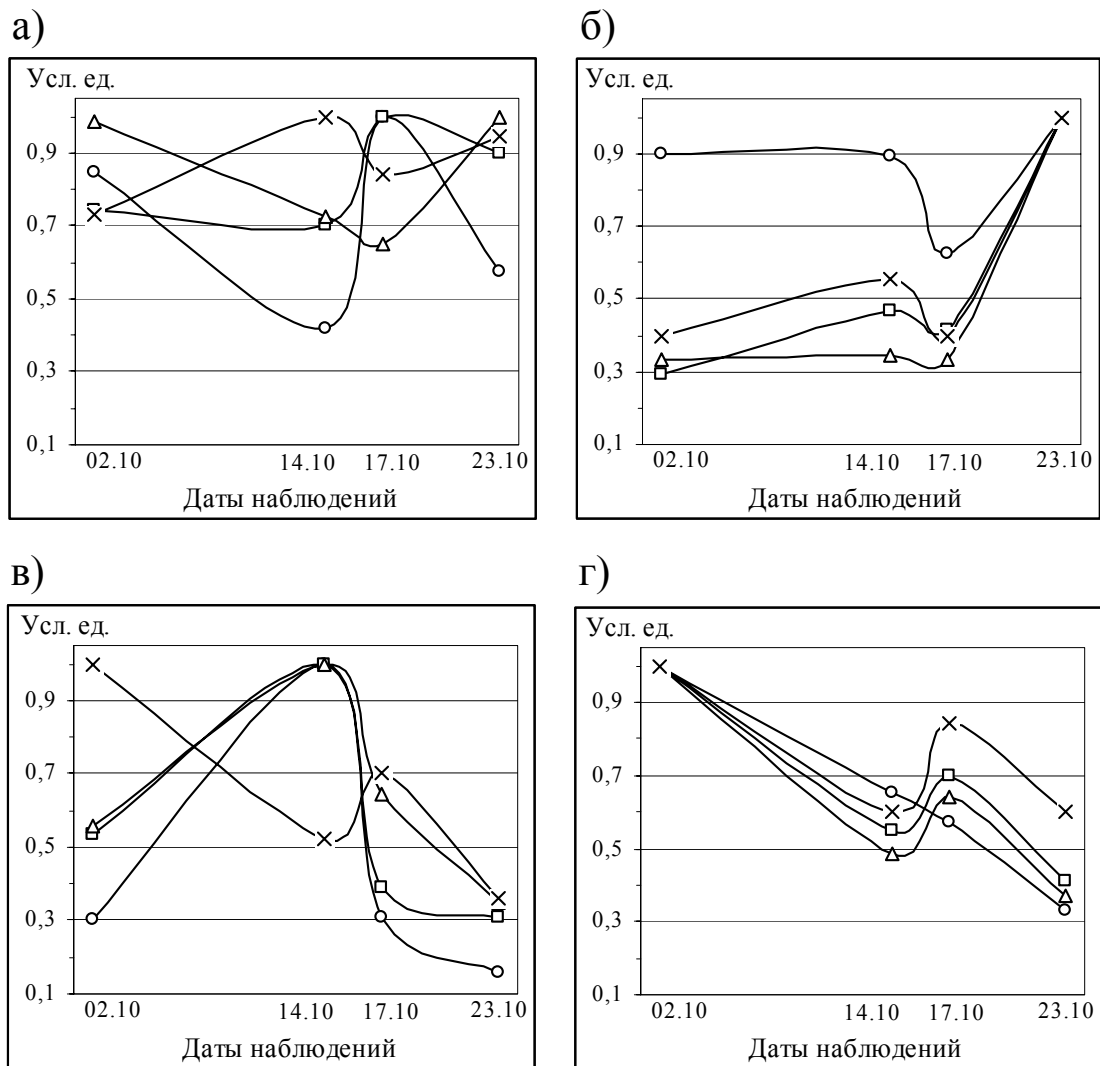


Рис. 3. Изменения энергии отражений в пунктах зондирования 1, 2, 3 и 4 (соответственно графики а, б, в, г) во временных диапазонах 125-200 мс, 200-300 мс, 300-400 мс, и 400-500 мс (соответственно графики с символами - ○, □, Δ, ×)

В целом же, изменения в процессе режимных наблюдений энергии отражений в области третьего пункта зондирования характеризуют полный цикл накопления энергетического потенциала в породной толще и его разгрузки по всей глубине в рассматриваемой области массива. В этом отношении характер изменения энергетических показателей отражений во втором пункте зондирования (см. рис. 3-б) свидетельствует о стадии нарастания к четвертому циклу наблюдений (23.10.08) напряжений в

этой области массива с заметно большей скоростью, чем скорость процесса в третьем пункте зондирования. Представляется также возможным рассматривать как завершающий этап разгрузки массива в области четвертого пункта зондирования понижение энергии отражений в этом пункте (см. рис. 3-г) от первого цикла наблюдений до четвертого.

Такие энергетические изменения отражений в пунктах зондирования указывают на определенную цикличность геомеханического накопления и разрядки напряжений в исследуемых областях массива по ходу развития очистных работ.

Вместе с тем в первом пункте зондирования графики энергии отраженных волн в различных временных диапазонах неоднозначны и, возможно, это связано с влиянием на породную толщу подготовительной выработки и/или мелкоамплитудной тектоники, сопутствующей Удачинскому надвигу (см. рис. 1).

В общем случае, значительные изменения в энергии сейсмических отражений позволяют говорить о высокой степени влияния геомеханических процессов в подрабатываемом массиве на упругие константы слагающих пород, их пористость, трещиноватость и контактные условия сейсмических границ. Возможность отслеживания этих изменений по оценке энергетических показателей отраженных волн, с высокой чувствительностью реагирующих на происходящие в массиве геомеханические преобразования, свидетельствует о прогностической информативности энергетических показателей применительно к контролю геодинамического состояния подрабатываемого массива.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Анциферов, А. В., Тиркель, М. Г., Трифонов, А. С. и др. Сейсмический мониторинг углепородного массива над очистными работами [Текст] / А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель, А. С. Трифонов и др. // - конф. - Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды / Институт горного дела СО РАН: - Новосибирск, 7-11 июля 2008.
2. Тиркель, М. Г., Трифонов, А. С., Туманов, В. В. и др. Сейсмическая диагностика горного массива над областью очист-

- ных работ / М. Г. Тиркель, А. С. Трифонов, В. В. Туманов и др. // конф. Неделя горняка – 2008, семинар № 2 / МГГУ: - Москва, 28 января-01 февраля 2008 г.
3. Трифонов, А. С., Тиркель, М. Г., Туманов, В. В и др. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой [Текст] / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов и др. // - сб. науч. тр./ УкрНИМИ НАН Украины: - Донецк, 2008 - № 2. - С. 83-89.
  4. Трифонов А. С., Тиркель М. Г., Туманов В. В., Архипенко А. И. Исследование влияния напряженного состояния верхней части подрабатываемого массива на параметры сейсмических сигналов [Текст] / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов, А. И. Архипенко // - сб. науч. тр. / УкрНИМИ НАН Украины: - Донецк, 2009 - № 4. - С. 61-70.