

УДК 550.834:622.12

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ С УТОНЕНИЯМИ И РАЗМЫВАМИ

Анциферов А. В., Глухов А. А., Педченко М. А.,  
Трофимов В. В.

(УкрНИМИ, НАНУ, г. Донецк Украина)

*У роботі дається аналіз особливостей взаємодії сейсмічних хвильових полів із стоншеннями і розмивами вугільного пласта з метою підвищення достовірності прогнозу даного роду порушень методами шахтної сейсмозвідки.*

*Features of interaction of seismic wave fields and coal seam thinning and washout are analyzed in order to improve reliability of prediction of such types of faults using methods of seismic exploration in mines.*

Утонения угольных пластов выражаются в уменьшении мощности угольного пласта (например, в результате его размыва) без изменения иных физико-механических параметров среды. Достоверный прогноз утонений традиционными методами возможен в основном на участках, ограниченных горными выработками, по крайней мере, с трех сторон. При отсутствии трех горных выработок такой прогноз осуществляется только при использовании методов шахтной сейсмозведки. Это касается, прежде всего, сингенетических локальных размывов овражно-речных типов.

По морфологической классификации изучению и сейсмическому прогнозу подлежат, в основном, микроразмывы с параметрами: вытянутые (руслообразные) шириной менее 50 м и протяженностью менее 300 м и изометрические (овальные) средним поперечным размером менее 100 м [1].

Утонения угольных пластов существенно влияют на производительность выемочных комплексов и проходческих комбайнов. Так, уменьшение мощности пласта более, чем на 30 % приводит к снижению нагрузки в комплексно–механизированных лавках, по меньшей мере на 20 %. Внезапные встречи размывов создают угрозу завалов горных выработок или их затопления (особенно при разработке буроугольных месторождений), снижают безопасность очистных и подготовительных работ, могут приводить к непредвиденным перенарезкам лав и порче оборудования, особенно, если породами–заполнителями размывов являются крепкие песчаники высоких стадий эпигенеза. В угольных разрезах утонения приводят к непроизводительным работам транспортно–отвальных мостов, повышению зольности добываемых углей. Исходя из этого, проведение анализа особенностей взаимодействия сейсмических волновых полей с утонениями и размывами, является актуальной задачей.

В целом для оценки влияния утонений на эксплуатацию угольных пластов в пределах конкретного шахтного поля используется их горно–геологическая классификация, произведенная на основе трех параметров: площадь распространения размыва, мощность угольного пласта  $M$ , глубина эрозионного среза размыва  $h$  в процентах от его мощности.

Разрешающая способность сейсморазведки при изучении и прогнозе утонений должна отвечать эрозионному срезу 0,5 мощности пласта, а по размерам выявляемых размывов – в сечении от 30–50 м.

Частной задачей сейсмического прогноза размывов является картирование смены литологического состава пород непосредственной кровли, что характерно для II типа овражно–речных размывов, особенно, когда породой–заполнителем является грубозернистый кластический материал.

Анализ волнового поля для утонений проводился на примере разрезов с углями марки Ж с параметрами, характерными для условий Донбасса. Был использован ряд моделей с угольным пластом мощностью 1,0 м. Физические свойства угля и пород, как и в ранее рассмотренных случаях соответствуют средней и поздней стадиям катагенеза. Расстояние между выработками рав-

но 200 м. Строго между ними расположен разрыв, параметры которого варьируются (см. рис. 1). Расчеты проводились для утонений различной протяженности  $L$  и различными значениями соотношения  $h/M$ , в том числе для предельного случая  $h = M$ . Всего было рассчитано около 60 моделей.

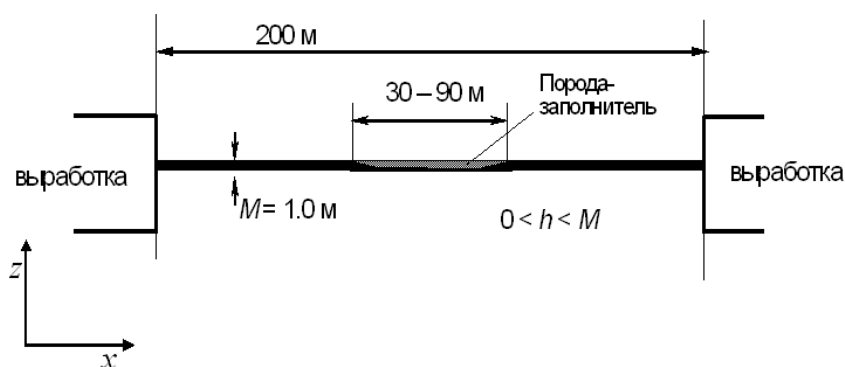


Рис. 1. Модель, использованная при проведении расчетов характеристик волнового поля в зоне утонений

На рис. 2 представлены последовательные стадии распространения  $P$  и  $SV$  волн в плоскости, перпендикулярной плоскости залегания угольного пласта. Изображения были получены наложением картин распределений амплитуд колебаний частиц среды вдоль направлений  $X$  и  $Z$  в определенный момент времени (через каждые 20 мс, начиная с момента 40 мс от начала возбуждения колебаний).

Интерес представляет то, что в момент пересечения первой группой волн утонения мы не наблюдаем многократно отраженных от границ пласта интерференционных продольных и поперечных волн (4), а также обменных волн (2). Для их формирования в используемом диапазоне частот нет условий (см. рис. 2 а).

Как только первая группа волн пересекла область утонения (см. рис. 2 б), данные типы колебаний вновь присутствуют на картине колебательного процесса. Эта особенность прохождения колебаний через утонения характерна для обеих групп волн. Многократно отраженные от границ пласта интерференционные волны «теряют» пласт и рассеиваются в породы, образуя эллипсоподобный фронт. Рассеяние идет преимущественно в направ-

лении от источника колебаний, но заметны и отраженные в обратном направлении волны. В структуре рассеянных волн в равной степени представлены продольные и поперечные колебания. Расчеты показывают, что продольные волны из набора интерференционных волн 5 при рассеянии на утонении могут несколько опережать волну 2, создавая эффект кажущегося ускорения второй группы волн. На ряде моделей он проявляется в виде уменьшения времени первого вступления данных колебаний.

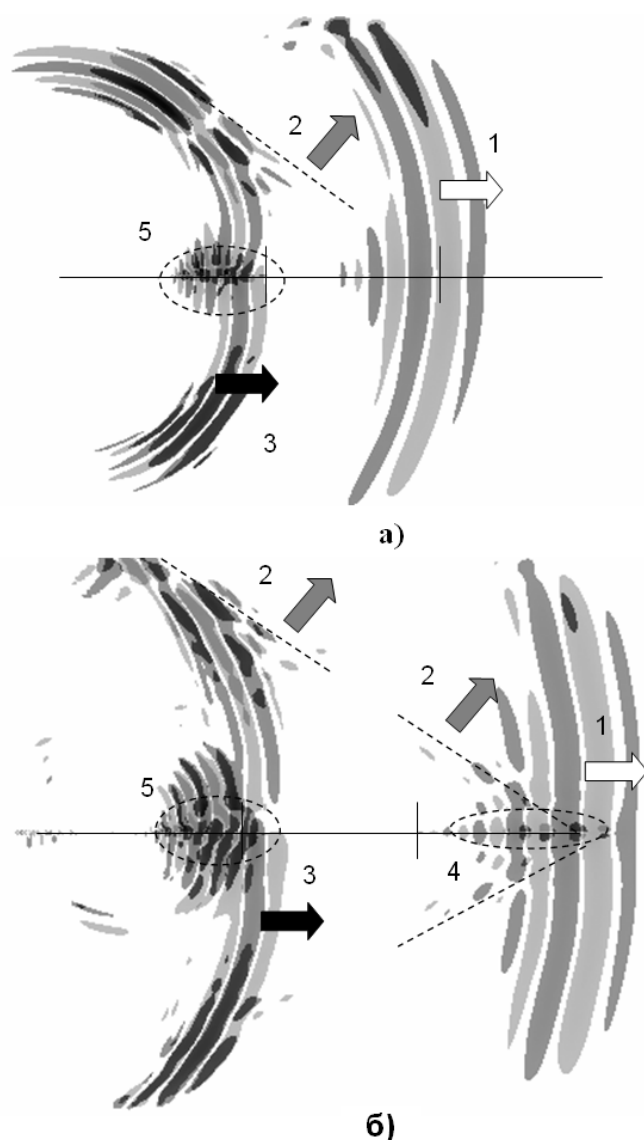


Рис. 2. Картина распространения сейсмоакустических колебаний в плоскости, перпендикулярной плоскости залегания угольного пласта при наличии размыва: а)  $t = 40$  мс; б)  $t = 60$  мс

В изменении амплитуды волновых пакетов следует выделить ряд общих особенностей. Увеличение значения  $h$  влечет за собой понижение амплитуды сигнала, регистрируемого за утонением. Это понижение тем больше, чем больше протяженность нарушения. Эта особенность иллюстрируется рис. 3а, где обобщены результаты расчетов, проведенных для пластов с утонениями различной протяженности и амплитуды. Значение  $h$  варьировалось от  $1/3$  мощности пласта до 1 (что соответствует полному разрыву сплошности). Для значений  $1/3$ ,  $2/3$  и 1 была проведена серия расчетов. Кроме этого, дополнительные вычисления были проведены для промежуточных значений  $h$ . Ширина зоны составляла 40 м или 80 м.

В монографии [2] упоминалось о существенном изменении частотного спектра сигнала. Приведенные там примеры (см. рис. 2.12 в [2]) показывают, что при увеличении амплитуды утонения максимумы частотной характеристики боковых волн сжатия увеличивают относительную амплитуду в общем спектре сигнала. Полученные позднее результаты в целом не подтверждают данный факт. Явление относительного увеличения максимума частотной характеристики боковых волн сжатия проявлялось только в отдельных случаях. Более типичен случай смещения положения максимума в высокочастотную область.

На рис. 3 б обобщены данные по результатам моделирования характера изменения частотных характеристик различных типов волн.

Характерные частоты  $P$  волн при изменении значения  $h$  от  $1/3$  до  $5/6$  мощности пласта практически не изменяются. Можно ожидать смещения положения максимума как в область низких, так и в область высоких частот на 10–15 Гц. Причем изменение ширины зоны утонения не влияет на результат. При разрыве сплошности характерно слабое уменьшение характерной частоты колебаний (не более чем на 15 Гц).

Характерные частоты  $SV$  волн при изменении значения  $h$  от  $1/3$  до  $2/3$  мощности пласта растут. Причем рост тем больше, чем протяженнее аномалия. При  $L = 80$  м,  $h = 2/3$  рост характерной частоты может составлять 20–30 Гц. Дальнейшее увеличение  $h$

приводит к уменьшению характерной частоты. При разрыве сплошности её уменьшение достигает 20–35 Гц.

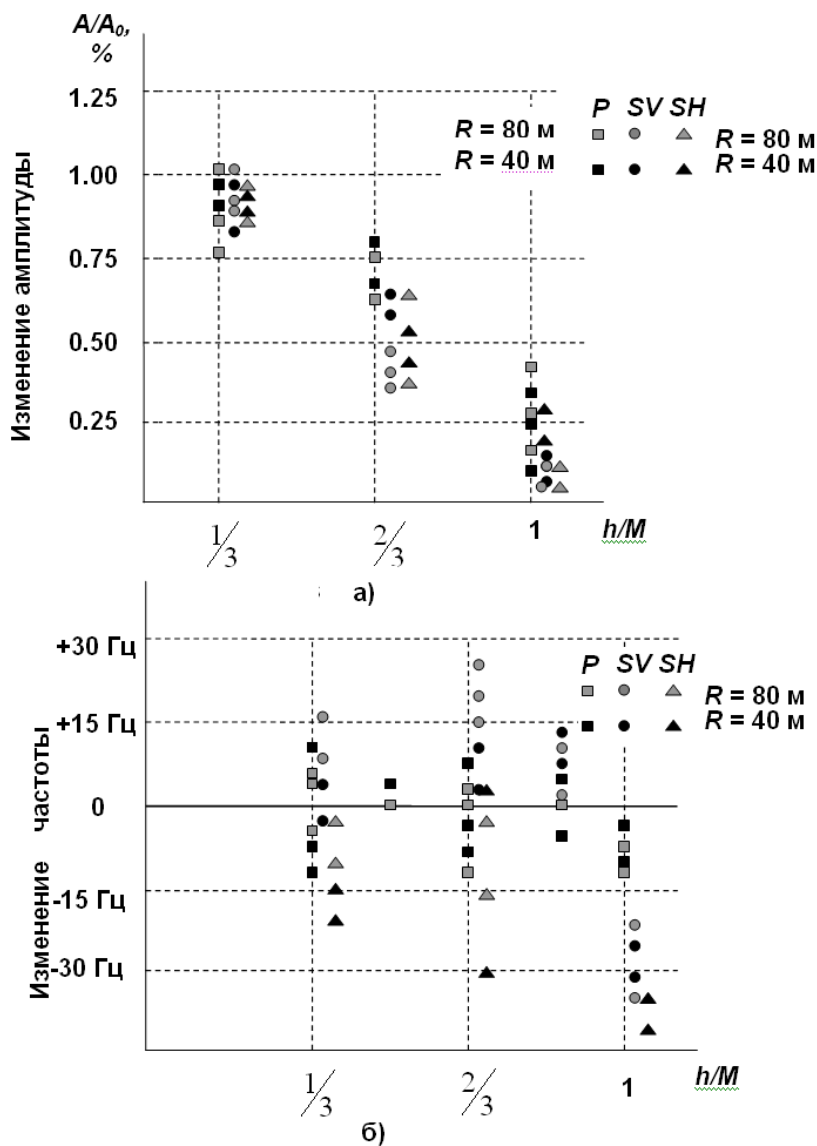


Рис. 3. Изменение амплитуд (а) и характерных частот (б) различных типов волн при наличии утонения

Спектры  $SH$  волн при наличии размыва расщепляется. Основной максимум смещается в область низких частот. В низкочастотной части спектра (на частотах от 0 до 100 Гц) проявляется дополнительный максимум. Его величина тем больше, чем больше амплитуда размыва и ширина зоны аномалии. Указанное поведение  $SH$  волн характерно до значений  $h = M$ .

Представленные результаты говорят о том, что зависимость характеристик сейсмического поля от характеристик аномалии имеет разный в разных диапазонах изменения  $h$ . Разрыв сплошности пласта, когда амплитуда утонения (например, глубина эрозионного среза размыва) равна мощности пласта, нельзя рассматривать как предельный случай утонения. Если при изменении значения  $h$  при сохранении сплошности меняются характерные частоты (а значит и свойства) каналируемых колебаний, то при разрыве сплошности исчезает сам канал.

Следует отметить, что общий характер волнового поля, формируемого в районе утонения большой амплитуды, практически не отличается от того, который получается в случае тектонического разрыва.

Результаты, представленные на рис. 3, не позволяют четко определить количественно характер зависимости параметров проходящей части сигнала от протяженности нарушения, хотя общая тенденция падения амплитуды с увеличением длины утонения очевидна. Отчасти это связано с особенностями используемых моделей. Для больших значений  $L$  протяженность утонения сравнима с протяженностью всей модели и уменьшается участок перед нарушением, оказывающий максимальное влияние на формирование структуры и параметров информативных волновых пакетов.

Приведенный анализ показывает высокую информативность  $SH$  волн. Для иллюстрации на рис. 4 представлены последовательные стадии распространения  $SH$  волн в плоскости, перпендикулярной плоскости залегания угольного пласта через каждые 20 мс, начиная с момента 40 мс от начала возбуждения колебаний. Выделяются характерные особенности:

- сравнительно интенсивная отраженная от границы утонения волна;
- рассеяние части колебательной энергии за пределы пласта в зоне утонения;
- очень сильная зависимость скорости распространения максимума огибающей от характеристик утонения.

Представляет интерес возможность формирования отраженной волны. Как показали результаты математического моделиро-

вания, сама возможность формирования доступной для регистрации отраженной волны связана с двумя факторами:

– с амплитудой утонения (например, глубиной эрозийного среза размыва);

– с резкостью изменения мощности пласта в зоне утонения (крутизной эррозионного среза).

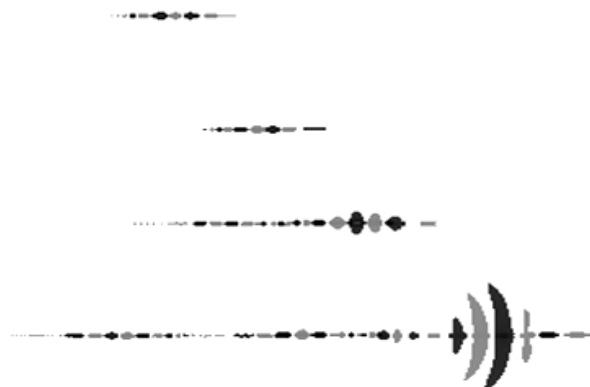


Рис. 4. Последовательные стадии распространения  $SH$  волн в плоскости, перпендикулярной плоскости залегания угольного пласта через каждые 20 мс, начиная с момента 40 мс от начала возбуждения колебаний

Причем, необходимо как наличие значительного градиента мощности при переходе от ненарушенной части пласта к утоненной (не менее 0,3 м/м), так и значительной амплитуды нарушения (не менее 40–60 % мощности пласта). От протяженности нарушения возможность формирования отраженного сигнала не зависит.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Thomson W.J. Transmission of elastic waves through a stratified solid medium // Journal of Appl. Phys. – 1950. – 21, – Р. 89 – 93.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: ООО “Алан”, 2002. – 312 с.