

УДК 550.834: 622.12

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ИНФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

**Педченко М. А.**

*(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)*

*Предметом аналізу в роботі є можливість виявлення зон підвищеного гірського тиску засобами шахтної сейсмозвідки. Описані закономірності зміни інформативних параметрів сейсмічних хвильових полів при наявності аномалій.*

*The object under review is capability of delineation of increased pressure zones using instruments of seismic exploration in mines. Regularities of changes in information parameters of seismic wave fields in case of anomalies are described.*

Експериментальные исследования, проводимые на базе УкрНИМИ, показали, что под действием горного давления с направлением близким к нормальному по отношению к направлению распространения трещин происходит их закрытие, вызывая при этом увеличение модулей упругости угля и вмещающих пород. Наиболее сильное влияние горное давление оказывает на угольный пласт, так как уголь имеет более высокую трещинную пористость и пластичность по сравнению с вмещающими породами. Такой механизм влияния горного давления на физико-механические свойства углепородного массива приводит с одной стороны к увеличению акустической жесткости угля и вмещающих пород, а с другой к снижению резкости акустических границ, так как акустическая жесткость угля возрастает под действием горного давления наиболее интенсивно.

По результатам проводимых на базе УкрНИМИ исследований к информативным параметрам волновых пакетов, на которые оказывают влияние зоны повышенного горного давления, относятся:

- скорость первых вступлений волновых пакетов всех типов волн;
- скорость максимумов огибающих волновых пакетов всех типов волн;
- разность времен прихода боковых Р и SV- волн на X и Z-компонентах;
- длительность волновых пакетов всех типов боковых волн;
- частота максимума амплитудного спектра волновых пакетов всех типов волн;
- амплитуда волновых пакетов всех типов волн.

Для проведения экспериментов использовались сейсмогеологические модели, наиболее характерных для центрального региона Донбасса угольных пластов, горно-геологические условия залегания которых соответствуют большинству активно работающих угольных предприятий. Базовая модель представляет собою выдержанный пласт угля марки «Ж» мощностью 1 м, залегающий между слоями алевролита и песчаника.

При исследованиях влияния зон повышенного горного давления на сейсмоакустическое волновое поле предполагается, что горное давление приложено на интервале длиной  $L$  (рис. 1). С целью описания закономерности изменения горного давления на исследуемом интервале был введен параметр  $G = \frac{\Delta\mu}{\mu_0} \times 100$  (%),

характеризующий изменение упругих констант на заданном участке. Характер изменения параметра  $G$  в плоскости модели приведен на рисунке 2.

В качестве инструмента использовалось разработанное на базе УкрНИМИ программное обеспечение, позволяющее моделировать распространение волновых полей в породном массиве с учетом поглощающих свойств среды [1].

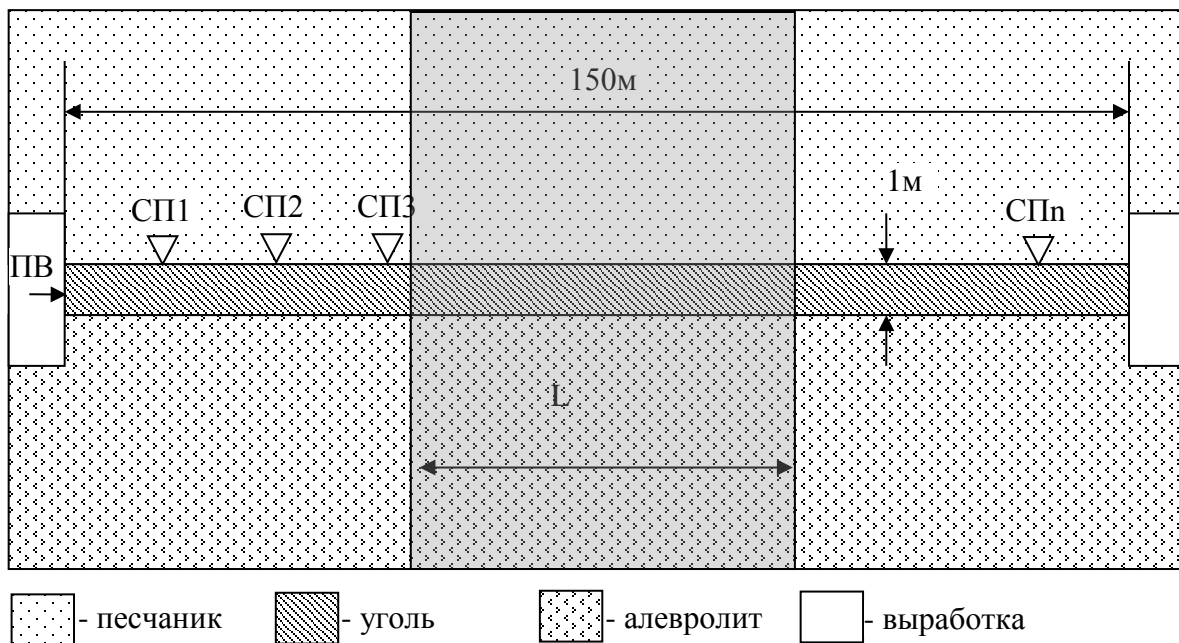


Рис. 1. Сейсмогеологическая модель, с нарушением и ситуационной основой

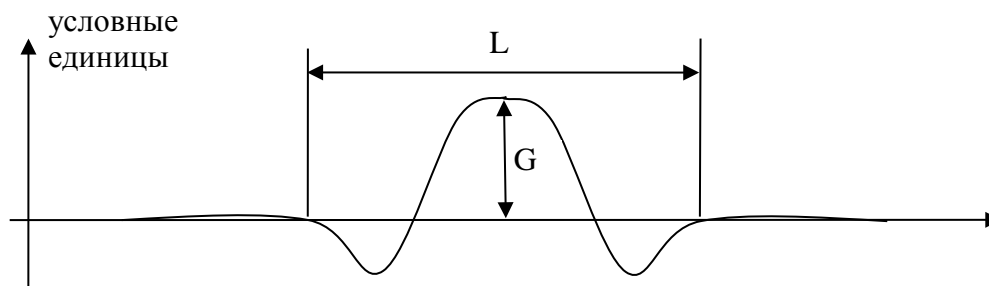


Рис. 2. Изменение горного давления в плоскости модели

В первой серии экспериментов основное внимание было уделено зависимости характеристик сигнала от изменения упругих констант в зоне аномалии. Моделирование проводилось, для источника с узким частотным спектром с максимумом на отметке 200 Гц. По результатам расчетов были получены наборы теоретических сейсмограмм для сейсмоприемников установленных вдоль пласта. На рисунке 3 представлены теоретические сейсмограммы, рассчитанные при значении параметра  $G=26\%$ . На которых можно отметить изменение направления годографа боковых волн при прохождении зоны повышенного давления. Также про-

слеживается формирование отраженных от зоны ПГД волн (на рис. 3 они обозначены стрелкой).

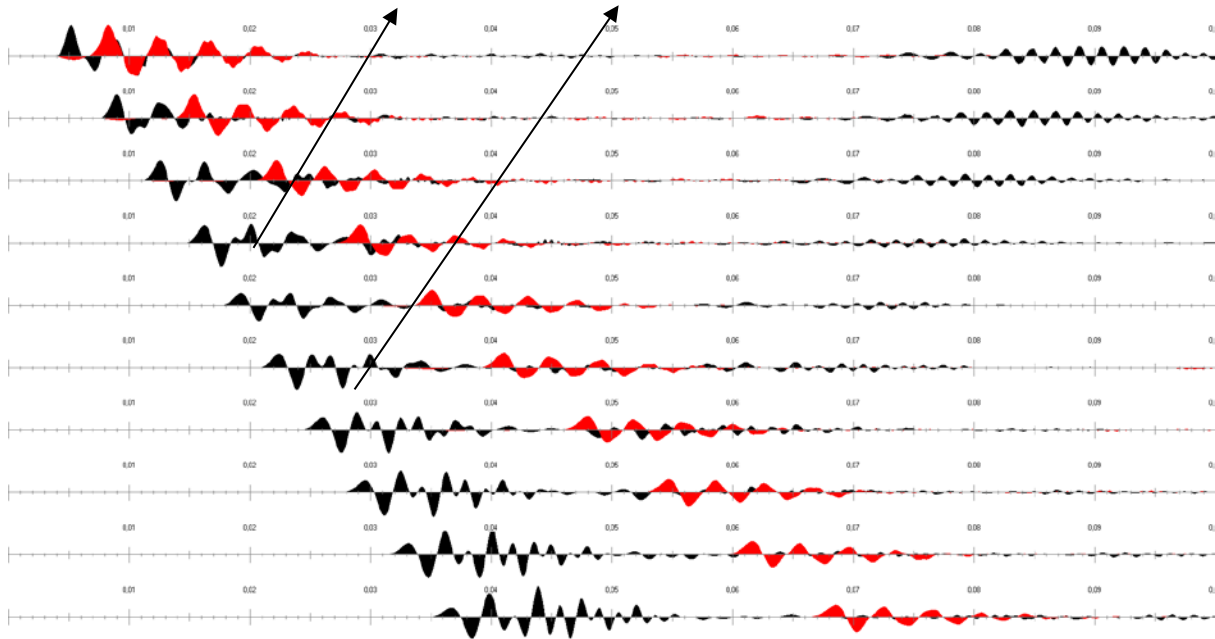


Рис. 3. Теоретические сейсмограммы для источника с частотой 200 Гц  $G = 26 \%$

На рисунке 4 приведены изменения значений амплитуд боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) рассчитанных для изменений значения параметра  $G$  от 1 % до 26 % и изменения значения параметра  $L$  от 10 % до 90 % длины моделируемого участка,  $dA(G) = A_n/A_a$ , где  $A_n$  – амплитуда волны рассчитанная для источника без нарушения,  $A_a$  – значения амплитуд полученные в результате численных экспериментов. Значения брались для сейсмоприемника расположенного внутри пласта на максимальном отдалении от источника колебаний.

На полученных графиках прослеживается четкая зависимость снижения значения амплитуды при росте горного давления. Можно заметить, что изменение давления в большей степени оказывает влияние на боковые волны сжатия. Как видно падение амплитуд с ростом давления происходит практически линейно, но можно отметить, что изменение давления в пределах от 1 до 6 % оказывает незначительное влияние на падение амплитуды боковых волн сжатия. При этом, на участке 6 % – 26 % отмечает-

ся резкое снижение амплитуды боковых волн сжатия. При этом снижение боковых волн сдвига происходит равномерно для всех значений  $G$ .

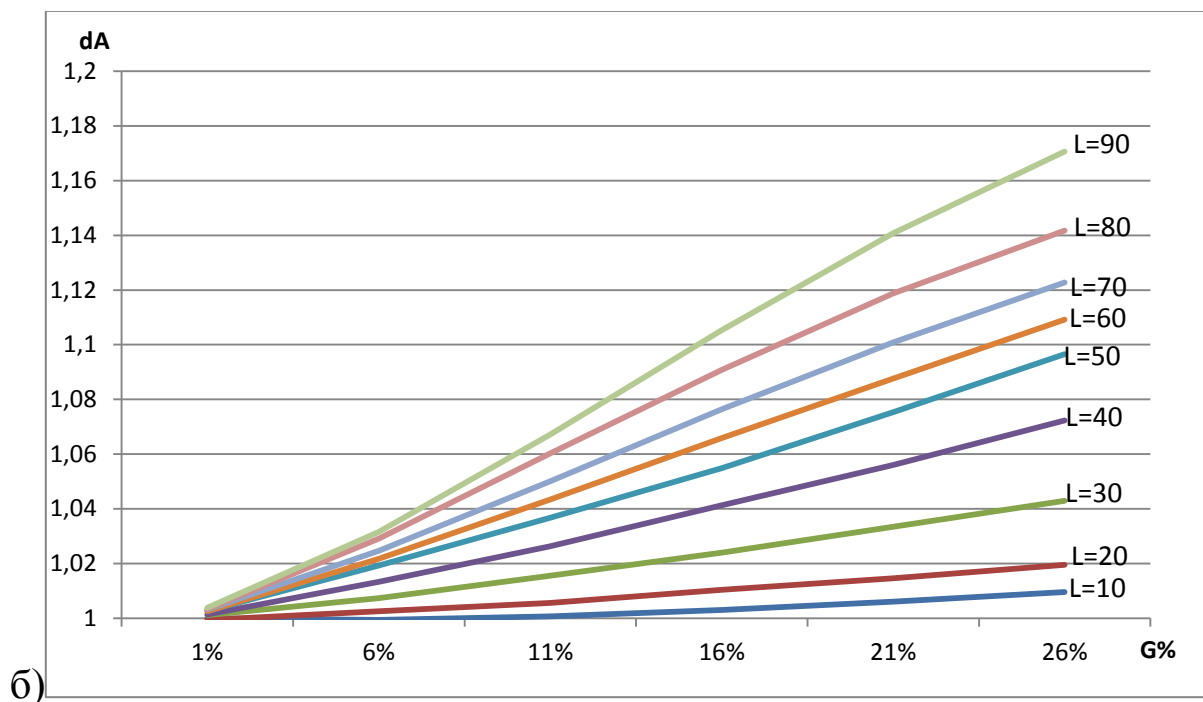
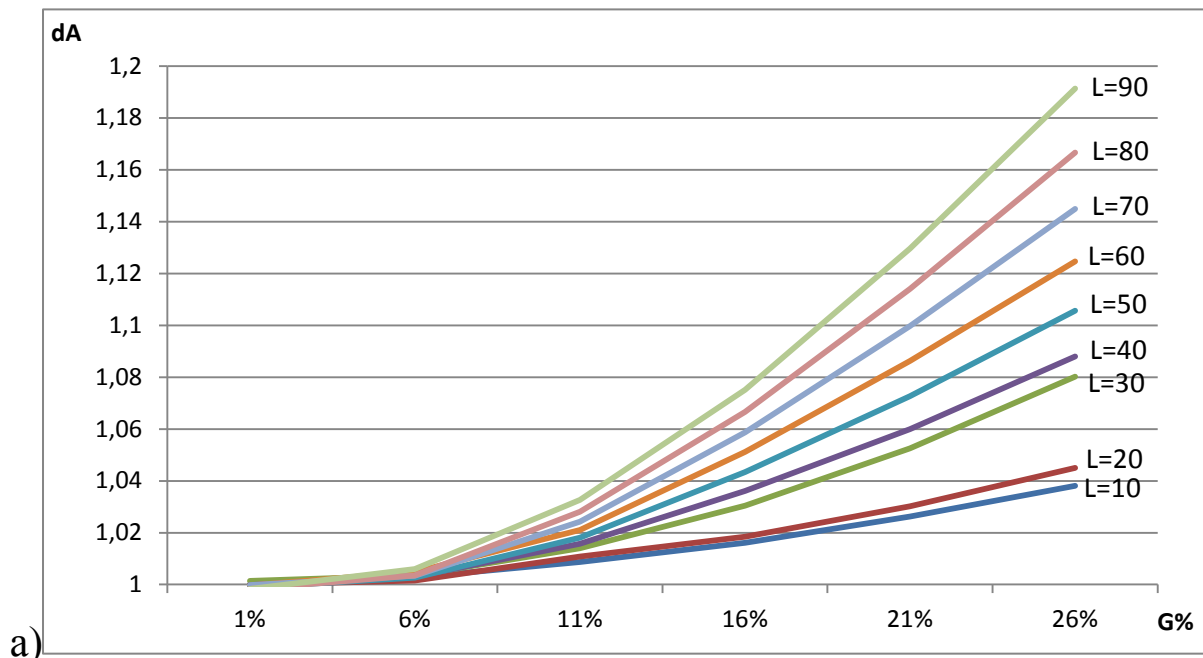


Рис. 4. Зависимости изменения амплитуд боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) от параметров зоны ПГД

Так же проводились исследования влияние зон ПГД на скорость первого вступления боковых волн. На рисунке 5 показаны изменения скоростей боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) в зависимости от моделируемых параметров зоны ПГД  $dV(G) = V_n/V_a$  где  $V_n$  – значение скоростей в модели без нарушений,  $V_a$  – скорости, полученные в результате численных экспериментов.

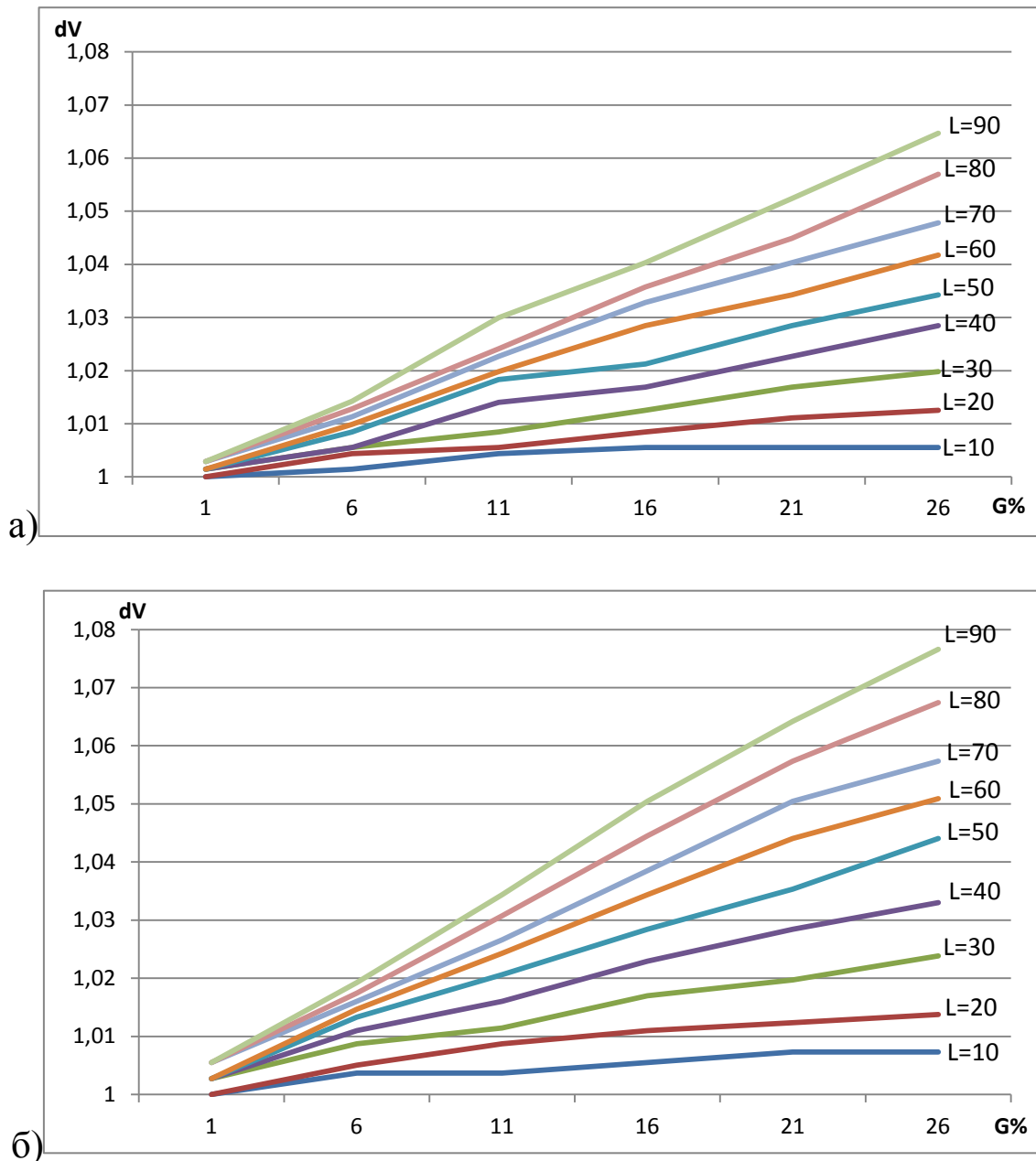


Рис. 5. Зависимости изменения скоростей первых вступлений боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) от параметров зоны ПГД

Можно сделать вывод, что рост концентрации напряжений ведет к росту скоростей всех типов волн.

Если в случае с амплитудами зависимость не очевидна, то данные изменения очень хорошо согласовываются с теорией. Действительно, из геометрических соображений легко убедиться в том, что для оценки времени первого вступления верная следующая формула (приведен пример для боковой волны сжатия):

$$t_p = \frac{R}{V_p} + L \left( \frac{V_p - \bar{V}_{p \text{ аном}}}{V_p \times \bar{V}_{p \text{ аном}}} \right), \quad (1)$$

где  $t_p$  – время первого вступления боковой волны сжатия;  
 $R$  – расстояние от источника колебаний до сейсмоприемника;

$V_p$  – скорость распространения волн сжатия;

$\bar{V}_{p \text{ аном}}$  – средняя скорость распространения волн сжатия в зоне повышенного горного давления;

$L$  – ширина данной зоны.

Поскольку в зоне ПГД  $V_p < \bar{V}_{p \text{ аном}}$ , для данного типа нарушения характерно уменьшение времени первых вступлений отображенных волновых пакетов. Выражение для боковых волн сдвига можно записать в виде:

$$t_s = 2 \frac{R}{V_s} + L \left( \frac{V_s - \bar{V}_{s \text{ аном}}}{V_s \times \bar{V}_{s \text{ аном}}} \right). \quad (2)$$

Обработка полученных в результате численных экспериментов теоретических сейсмограмм показывает высокую степень схождения времени прихода волн разных типов с выражениям (1) и (2). Для боковых волн сжатия отклонения не превышает 1-2 %, для волн сдвига – 5 %. При этом следует учесть, что если время первого вступления волн сжатия можно определить достаточно точно, то сдвиговых волн могут возникнуть трудности.

Анализ полученных зависимостей изменения скоростей от параметров зон ПГД позволяет сделать вывод, что изменение горного давления в большей мере оказывает влияние на скорости боковых волн сдвига, рост скоростей происходит практически

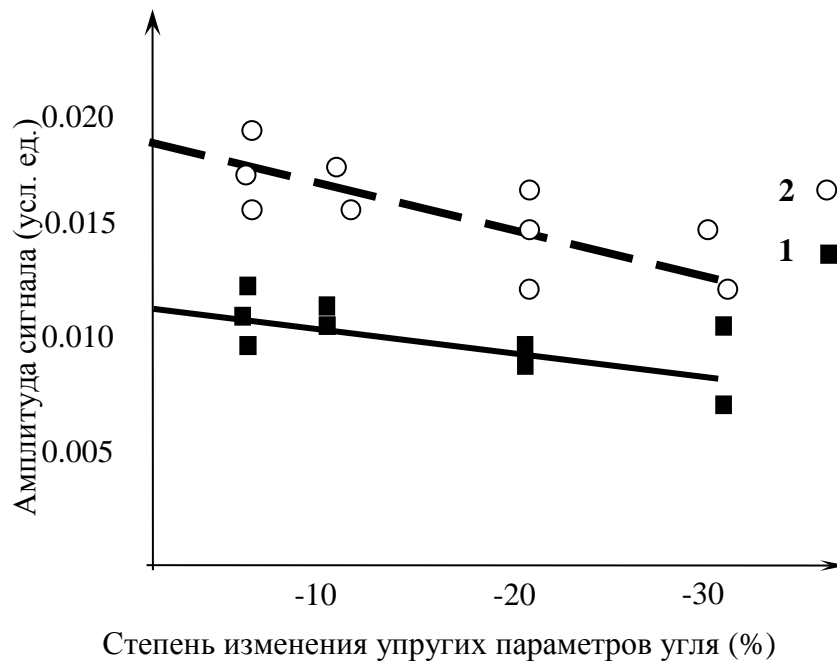
линейно, и хорошо прогнозируем, что позволит использовать данную закономерность как информативный критерий выявления зон ПГД.

С целью проверки полученных в закономерностей было проведено сравнение полученных закономерностей с результатами других исследований, изложенными в работе [2], где приведены зависимости параметров сигнала от акустической резкости отражающей границы, создаваемой зоной ПГД. Сравнение полученных в результате численных экспериментов данных [2] с результатами, полученными в данной работе, показывает, что, несмотря на расхождения в значениях амплитуд, наблюдается схожий характер зависимости и соотношений между амплитудами боковых волн сдвига и сжатия.

На рисунке 6 представлена зависимость амплитуд волновых пакетов от степени изменения плотности и скоростных характеристик угля в зоне трещиноватости, теми же изменениями свойств угля и пород (5 %, 10 %, 20 % и 30 %) только взятыми с обратным знаком. Полученные данные аппроксимировались линейными функциями. Результаты данных расчетов показывают, что сейсмические волны реагируют на повышение акустической жесткости среды в зоне ПГД вдвое слабее, чем на такое же по величине понижения акустической жесткости среды в зоне повышенной трещиноватости. Этот факт хорошо согласовывает с данными, приведенными в монографии [2].

В ходе второй серии численных экспериментов проводились исследования изменения информативной характеристики волновых полей в зависимости от протяженности зоны повышенного горного давления ( $L$ ), которая изменялась в диапазоне от 10 % до 90 % длины исследуемого участка. По результатам численных экспериментов, как и в предыдущих численных экспериментах, были получены теоретические сейсмограммы для сейсмоприемников, установленных вдоль направления распространения сейсмических колебаний. На рисунке 7 представлены примеры таких сейсмограмм, рассчитанные для источника с частотой 200 Гц для длины зоны ПГД 20 % (30 м) и 60 % (90 м) от общего размера модели.





1) бокова хвиля стиснення, 2) бокова хвиля зсуву.

Рис. 6. Залежність амплітуд бокових хвиль від ступеня зміни густоти і швидкісних характеристик вугля в зоні тріщинуватості (ширина зони становить 40 м)

Як видно на теоретических сейсмограмах, напрямлення годографа бокових хвиль змінюється непрямою в зоні підвищеного гірського тиску. Були досліджені закономірності зміни максимуму модуля амплітуди бокових хвиль в зоні підвищеного гірського тиску, результати чисельних експериментів приведені на малюнку 8.

Як видно, тенденція зниження амплітуди з зміною параметрів зони ПГД в бік збільшення – збереглася. На отриманих графіках прослідковується чітка залежність зниження значення амплітуди при збільшенні протяженності зони підвищеного гірського тиску. Можливо зауважити, що зміна тиску в більшій ступені впливає на бокові хвилі стиснення. Як видно падіння амплітуд з збільшенням протяженності зони ПГД відбувається практично лінійно. При цьому слід зауважити, що зміна протяженності в межах від 10 до 20 % впливає достатньо незначительне на паде-

ние амплитуды боковых волн сжатия, но при этом изменение протяженности с 20 % до 30 % общей длины модели оказывает существенное влияние на амплитуды боковых волн сжатия. При этом на амплитудах боковых волн сдвига это практически не отражается.

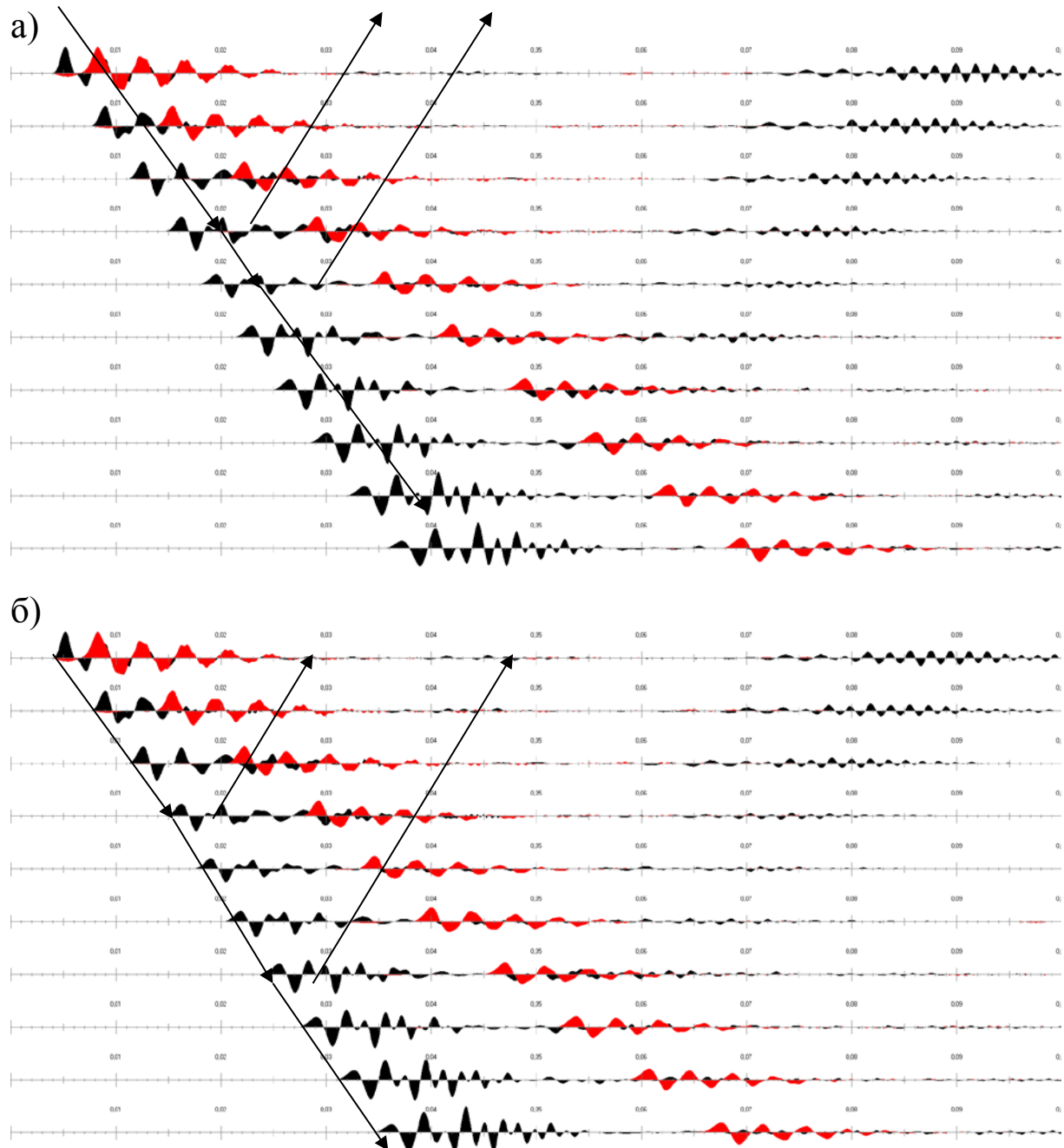


Рис. 7. Теоретические сейсмограммы для источника с частотой 200 Гц,  $L = 20\%$  (30 м) (а);  $L = 60\%$  (90 м) (б)

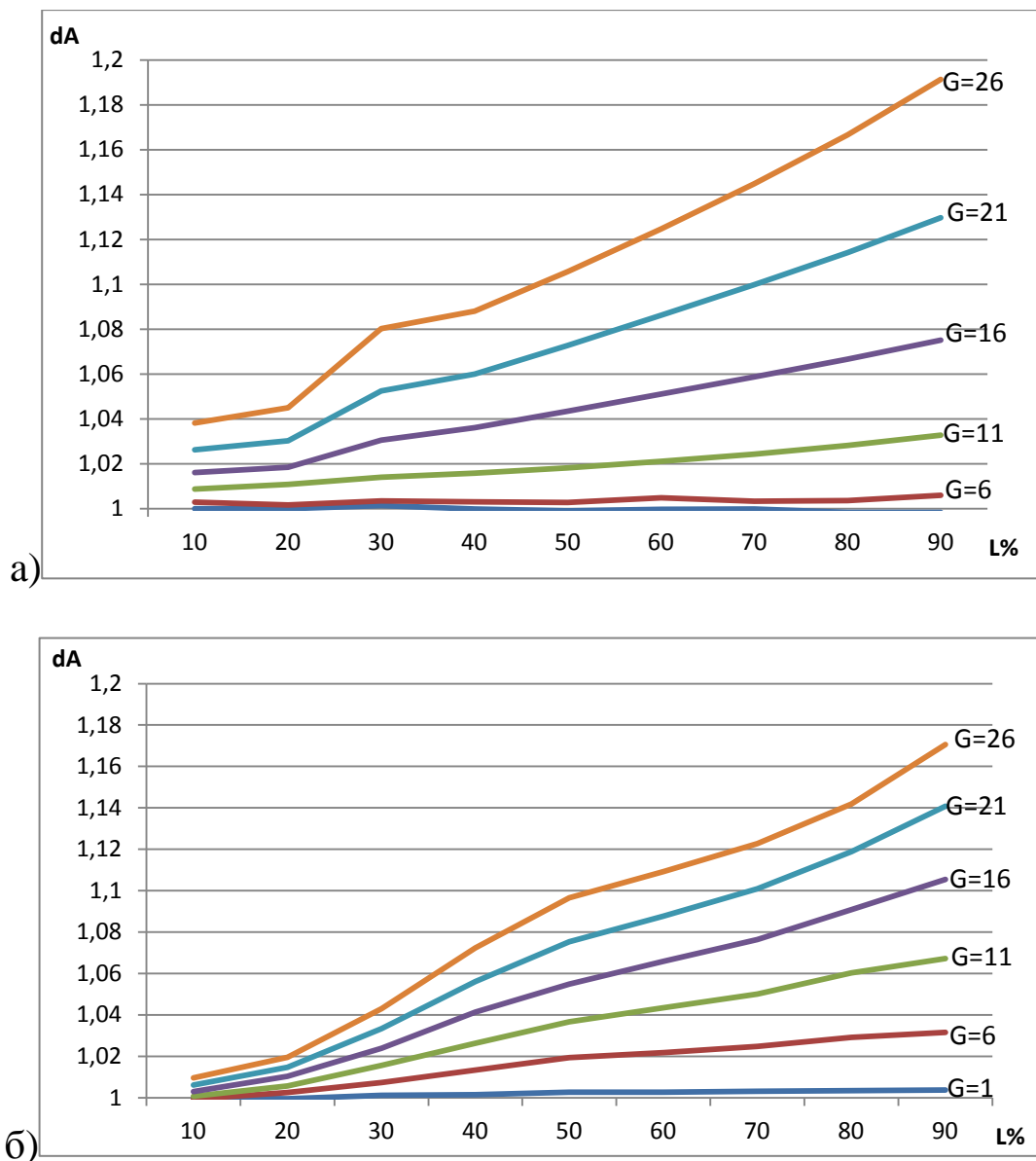


Рис. 8. Зависимости изменения амплитуд боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) от протяженности зоны ПГД

Аналогичным, как и в первом эксперименте, образом проводились исследования влияния протяженности зоны повышенного горного давления на скорости первых вступлений волновых пакетов. Корреляционные зависимости изменения скоростей вступлений боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) приведены на рисунке 9.

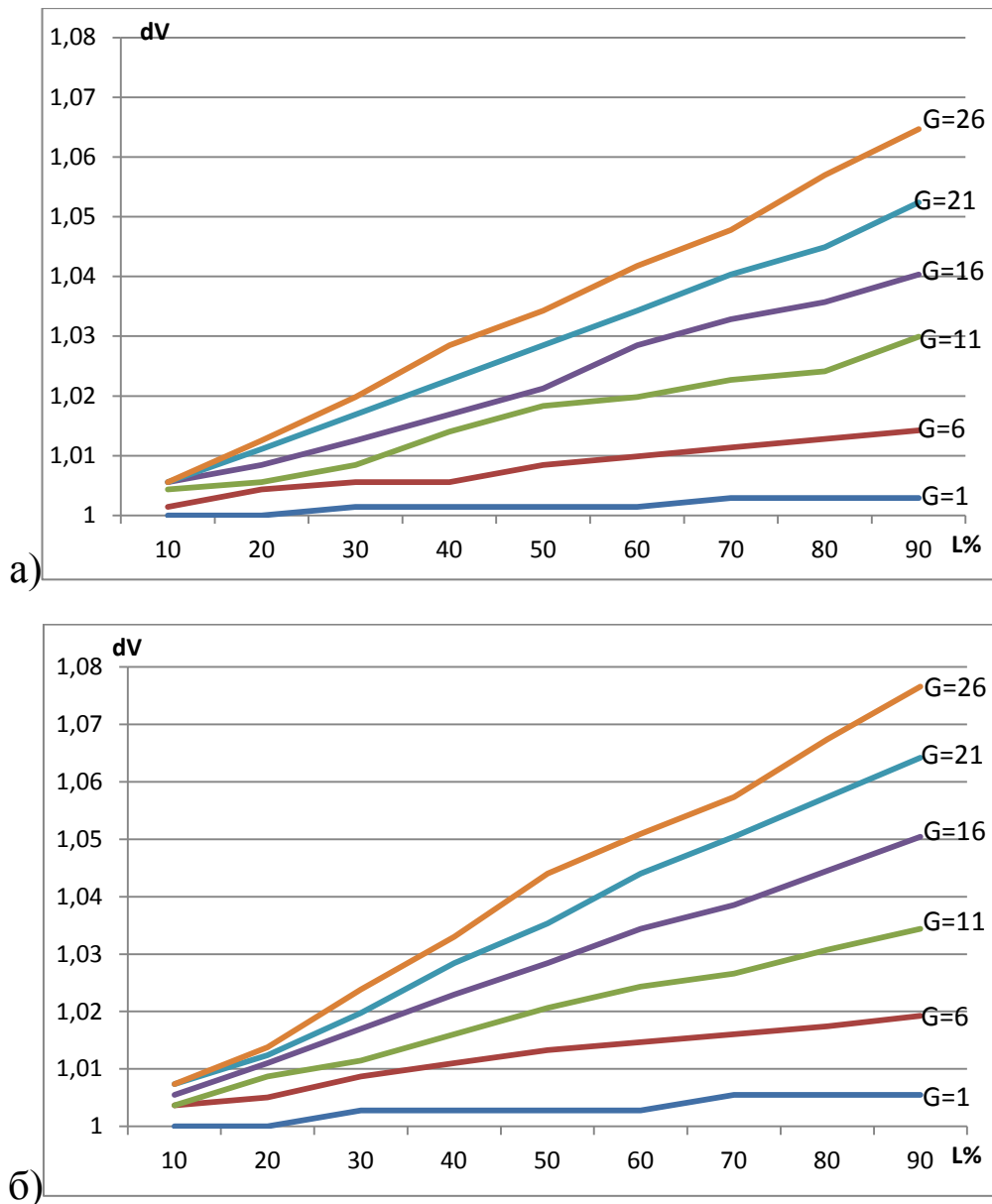


Рис. 9. Зависимости изменения скоростей первых вступлений боковых волн сжатия (а) и сдвига (б) от изменения протяженности зоны ПГД

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при использовании метода сейсмопросвечивания для прогноза зон ПГД следует учитывать, что увеличение плотности и скоростных характеристик угля на каждые 10 % может вызвать уменьшение амплитуды боковых волн на величину порядка 5-10 %. Причем боковые волны сдвига сильнее реагируют на наличие аномалии. При этом уменьшение плотности и скоростных характеристик

угля в зоне трещиноватости на каждые 10 % может вызвать уменьшение амплитуды боковых волн на 15-30 % от значений в ненарушенном массиве.

Установлена зависимость амплитуды боковых волн и скорости их первого вступления от степени изменения упругих констант в зоне ПГД.

Для оценки ширины зоны аномалии по времени первых вступлений боковых волн сдвига и сжатия могут быть использованы приближенные соотношения (1) и (2).

При прогнозе ПГД следует учитывать, что увеличение протяженности зоны может приводить не к уменьшению, а к увеличению зарегистрированных амплитуд боковых волн всех типов.

При прогнозе зоны ПГД рост протяженности зоны всегда приводит к уменьшению амплитуд боковых волн всех типов.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Анциферов А. В. Модифицированный метод математического моделирования процесса распространения колебаний в углевмещающей толще / Анциферов А. В., Глухов А. А., Педченко М. А., Трофимов В. В. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — Донецьк : УкрНДМІ НАН України, 2008. — № 3. — С. 153—160.
2. Анциферов А. В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. — Донецк : ООО “Алан”, 2002. — 312 с.