

## ВЛИЯНИЕ РЕЗКОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ГРАНИЦ НА ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА СЕЙСМОПРОСВЕЧИВАНИЯ

Андиферов А.В. (УкрНИИМИ)

Достоверность и точность данных об угольном пласте – один из наиболее важных факторов, влияющих на эффективность процесса добычи угля подземным способом и снижающих как экономические показатели, так и безопасность ведения горных работ. В данной статье на основе применения методов математического моделирования рассмотрены некоторые зависимости основных информативных параметров акустических сигналов от параметров вмещающих пород при применении метода сейсмопросвечивания. Основное внимание уделено пластам малой (по отношению к типичным длинам волн акустического сигнала) мощности, что характерно для современных условий эксплуатации шахт Донбасса.

Формирование сигнала на пластах малой мощности имеет сложный характер. Это обусловлено рядом причин. Одна из главных – расположение фазы Эйри [1] для пластов мощностью порядка 1 м и менее в высокочастотной области. В этих случаях рассчитанные аналитическими методами максимумы частотной характеристики сигнала располагаются на частотах от 400 Гц и выше [1,2]. Но на практике такие частоты часто выходят за рамки диапазона источника и сильно подвержены действию диссипативного затухания в угленосной толще. В результате, в формировании каналовой волны принимает существенное участие только нулевые моды интерференционных колебаний, либо «классические» каналовые волны в фазе Эйри не наблюдаются [1]. Доминируют интерференционные пакеты сложной природы, которые в целом можно рассматривать как результат интерференции разных типов волн. Рассмотрение особенностей распределения амплитуд и энергий по мере формирования волнового пакета и характер изменения частотных спектров этих пакетов позволяют сделать вывод о том, что формирование пакета идет преимущественно за счет боковых волн, которые резонируя резко повышают свою амплитуду, выделяют определенный диапазон частот и в результате интерференции в пласте видоизменяются, принимая черты характерные для каналовых волн. В дальнейшем, чтобы отличать подобные пакеты от пакетов каналовых волн в фазе Эйри, будем говорить о них как о

«головных» пакетах каналовых волн, либо просто «головных» пакетах.

Влияние резкости акустических границ на распространение сейсмических волн.

Рассмотрим влияние резкости акустических границ на распространение сейсмических волн в тонком волноводе, каковыми являются типичные угольные пласты Донбасса. Для этого в качестве базовой используем модель, которая описывала условия залегания пласта  $h_8$  (шахта «Соц. Донбасс»), изменяя акустические свойства волновода путем увеличения скоростных показателей угля с шагом 20%. Соответствующие параметры пород приведены на рис. 1. Моделирование процесса распространения сейсмических колебаний проводилось с помощью разработанного в УкрНИИМИ комплекта программ [3], использующего в качестве математического аппарата метод конечных разностей. Настоящий метод зарекомендовал себя с наилучшей стороны высокой степенью адекватности данным реальных наблюдений.

Рассмотрим для начала изменения  $Y$  компоненты сигнала. Сигнал, полученный на базовой модели содержит три характерных участка: пакеты боковых волн, пакет головных волн, пакет каналовых волн (рис. 2).

При увеличении скоростных показателей угля второй и третий пакеты ускоряются пропорционально этому увеличению.

	Порода	$V_s$ м/с	$V_p$ м/с	$S$ кг/м <sup>3</sup>	$h$ м
	Песч. сланец	2420	3600	2690	20
	Уголь	1050	1600	1400	1
	Песч. сланец	2420	3600	2690	7
	Песчаник	2700	4150	2700	100

Рис. 1. Условия залегания пласта  $h_8$  ш. «Социалистический Донбасс».

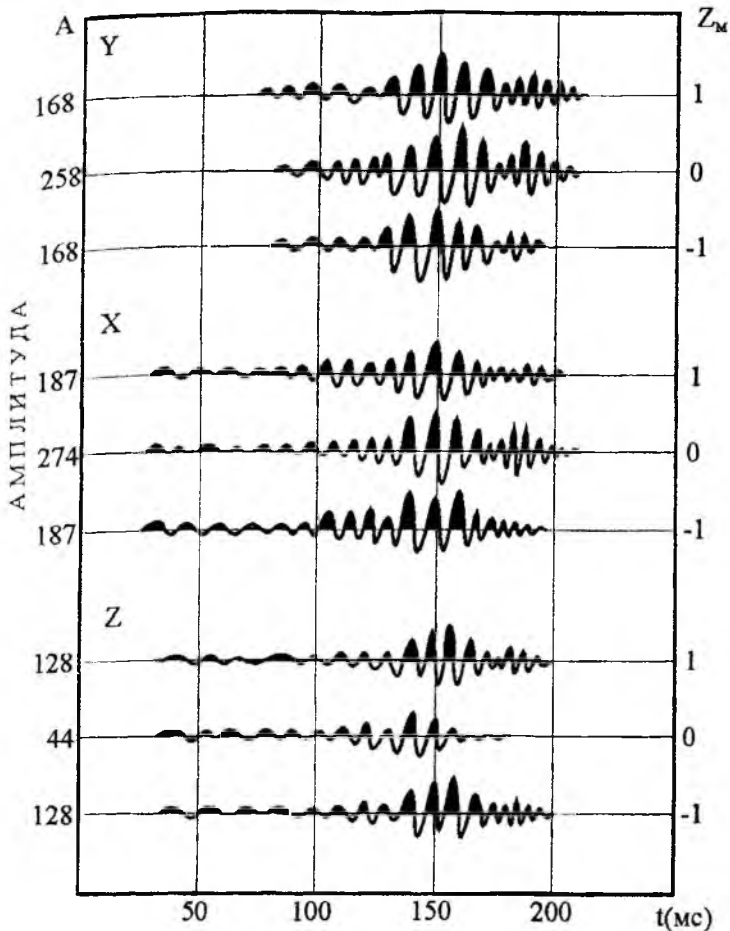


Рис. 2. Теоретические сейсмограммы, полученные для пласта  $h_8$ .

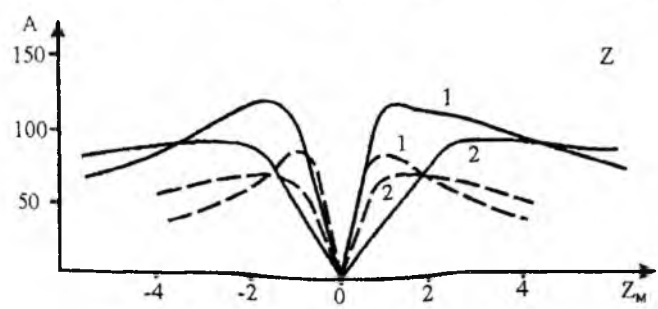
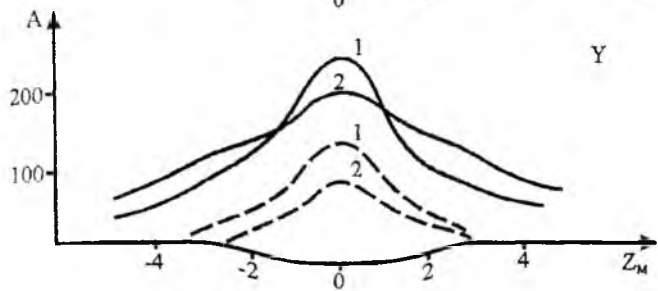
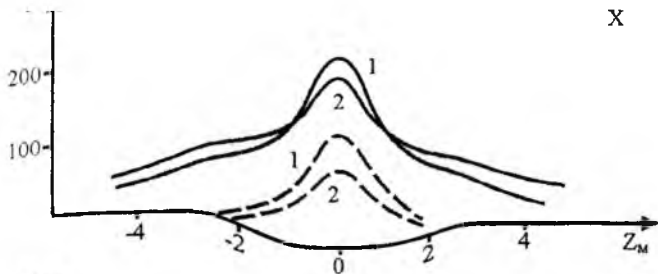
Скорость пакета боковых волн при этом увеличивается значительно слабее, что приводит к его сближению с остальными. В итоге вид сигнала несколько преобразуется. Изменяются характеристики головного пакета. Поскольку волноводные свойства пласта несколько "слабеют" при уменьшении резкости акустических границ, замыкающая часть пакета головных волн теряет свою амплитуду быстрее чем начальная. Это приводит к

визуальному перемещению максимума огибающей головной волны в начало пакета. При ослаблении резкости акустических границ на 10% значение амплитуды понижается на 5-10%

Для  $Y$  компоненты колебаний изменяется распределение амплитуд каждого пакета по сечению перпендикулярному плоскости залегания пласта. Общая тенденция проявляется в следующем: уменьшение резкости акустических границ приводит к понижению максимальной амплитуды сигнала и к уменьшению степени ее изменения при удалении от центра пласта. Для разных пакетов формирующих сигнал области наибольшего реагирования на изменение условий залегания располагаются по-разному. На рис. 3 проиллюстрировано изменение распределения амплитуды колебаний наиболее интенсивных частей головного пакета и пакета каналовых волн при уменьшении резкости акустических границ. Видно, что область наибольшего реагирования пакета головных волн на изменение параметров вмещающих пород расположена в граничных с углом породах. На расстоянии порядка длины волны от центра пласта ослабление резкости акустических границ на 10% приводит к увеличению амплитуды колебаний на 100%. Наиболее реагирующая часть колебаний пакета каналовых волн – те, которые переносятся по центру пласта. При этом описанное изменение резкости акустических границ приводит к понижению максимального значения амплитуды на 25%. Частотный спектр изменяется в сторону расширения диапазона значимых частот за счет низкочастотных составляющих (рис. 4).

$X$  компонента колебаний повторяет характер и особенности процесса распространения  $Y$  компоненты. Она имеет те же области реагирования на изменение условий залегания и подобную силу реакции.  $Z$  компонента имеет свою специфику. Как уже отмечалось выше, распределение амплитуд головного пакета и пакета каналовых волн  $Z$  компоненты качественно иное, чем у  $X$  и  $Y$  компонент. При ослаблении акустических границ максимальные амплитуды  $Z$  компоненты убывают, а зоны расположения максимумов амплитудного среза сдвигаются дальше от центра пласта. На данных примерах (См. Рис. 2) ослабление резкости акустических границ на 10% привело к понижению амплитуды головного пакета на 20%, амплитуды каналовых волн – на 35% и к перемещению максимумов на расстояние около 4м. Таким образом, области наибольшего реагирования  $Z$  компоненты на изменение условий залегания располагаются на значительном расстоянии от пласта (порядка половины длины волны).

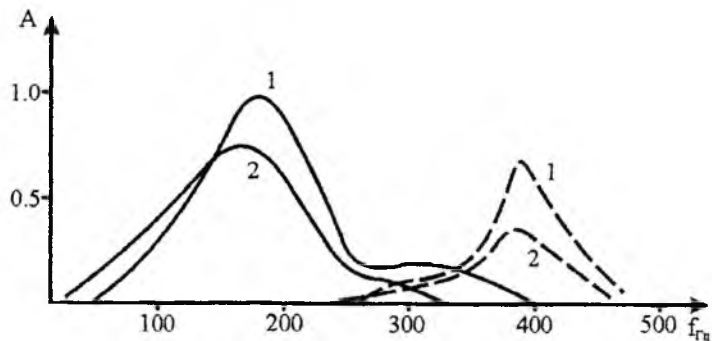
При ослаблении резкости акустических границ для  $X$  и  $Z$  компонент также изменяется частотная характеристика за счет усиления низкочастотных колебаний, что приводит к смещению наиболее интенсивной части пакетов в область низких частот.



Условные обозначения:

- - головной пакет канааловых волн,
- - - - - пакет канааловых волн в фазе Эйри,
- 1 - показатель резкости акустических границ - 0,4, 2 - 0,5

Рис. 3. Зависимость распределения амплитуд пакетов канааловых волн от резкости акустических границ.



Условные обозначения:

- - головной пакет каналовых волн,
- - - - - пакет каналовых волн в фазе Эйри,
- 1 - показатель резкости акустических границ - 0,4, 2 - 0,5

Рис. 4. Зависимость спектра Y - компоненты волнового поля от резкости акустических границ.

Особенности формирования сигнала на пластах несимметричными акустическими границами.

На рис. 5 показана модель, соответствующая условиям залегания пласта  $l_2$  участка 83 ш. Им. Изотова п/о "Артемуголь". Он отличается от модели изображенной на Рис.1 параметрами почвы и кровли и большими скоростями  $V_s$  и  $V_p$  в угле. При этом  $V_s$  угля соответствует модели, изображенной на Рис.1, почва имеет скорость распространения сдвиговых волн на 20% меньше, а кровля - на 20% больше.

Как видно из наборов сейсмограмм (рис. 6), расположение пакета каналовых волн практически точно соответствует модели Рис.1. Скоростные параметры пакета очень слабо реагируют на изменение свойств вмещающих уголь пород. Пакет головных волн несколько видоизменяется. Возросла его протяженность, поскольку в его формировании принимают участие колебания идущие из пород с большим разбросом скоростей, на 15% понизилась амплитуда. Пакет боковых волн, слагаемый больше из колебаний, идущих со стороны почвы (нижняя акустическая граница значительно слабее), имеет высокую скорость распространения и наблюдается в качестве низкочастотных колебаний перед вступлением цуга головной волны. При этом

	Порода	$V_s$ м/с	$V_p$ м/с	$S$ кг/м <sup>3</sup>	$h$ м
	Аргил.	2900	4550	2500	20
	Уголь	1200	2050	1200	1
	Извест- няк	2050	3400	2550	20

Рис. 5. Горно-геологические условия залегания пл.  $I_2$  ш. им. Изотова.

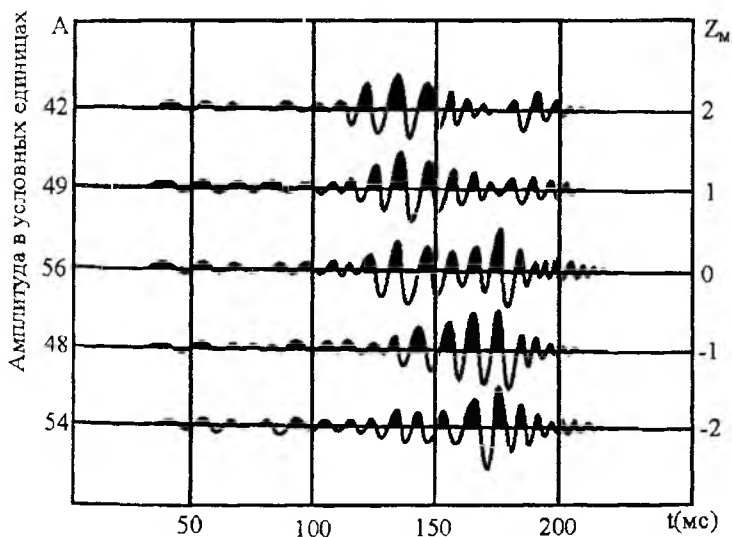


Рис. 6. Теоретические сейсмограммы  $Z$  - компоненты волнового поля пл.  $I_2$  ш. им. Изотова.

частотный спектр головной волны имеет два максимума (110 и 180 Гц). Наличие одного из них (низкочастотного) говорит о том, что в данном случае имеет место наложение головной волны на хвостовую часть пакета боковых волн.

Амплитудные срезы для всех компонент колебаний принимают несимметричный характер. Падение амплитуды круче со стороны резкой акустической границы. При этом положение максимумов амплитуды  $X$  и  $Y$  компонент колебаний остается в центре пласта. Положение и величины минимумов и максимумов  $Z$  компоненты сильно зависят от резкости акустических границ. Амплитуда максимума со стороны более резкой границы на 30% больше амплитуды максимума противоположной границе. При этом он располагается на расстоянии 0.5-1.0 м. От границы пласта, тогда как противоположный – на расстоянии более 2 метров.

На Рис.6 показаны наборы сейсмограмм  $Z$  компоненты колебаний по сечению перпендикулярно плоскости пласта. Эти сейсмограммы иллюстрируют природу колебаний головного пакета. Его вид в центре пласта на разных участках формируется либо колебаниями, приходящими со стороны разных пород, либо колебаниями явно пластового характера. При этом прослеживается четкое разделение колебаний по скоростям и времени поступления.

### **Выводы**

Рассмотрение особенностей формирования сейсмоакустического сигнала в зависимости от параметров вмещающих пород позволяет сделать ряд выводов. Повышение резкости акустических границ независимо от мощности пласта приводит к ряду последствий:

- к усилению концентрации  $X$  и  $Y$  компонент колебаний в центре пласта, а  $Z$  компоненты – в породах в пограничной к пласту области;
- к удлинению пакетов каналовых волн за счет усиления проявления дисперсии;
- к увеличению видимой частоты регистрируемого сигнала за счет ослабления вклада низкочастотных составляющих;
- к смещению максимумов огибающей пакетов каналовых волн в хвостовую часть пакета за счет относительного возрастания вклада высокочастотных колебаний,
- к увеличению разности прихода пакетов боковой и каналовой волн соответственно величине разности между скоростями сдвиговых волн в угле и породах;
- к понижению относительного вклада пакетов боковых волн в формировании сигнала.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: Недра, 1988.
2. Ватолин Е.С., Рубан А.Д. Сейсмический прогноз параметров малоамплитудных разрывных нарушений угольного пласта // Науч.сообщ. / Ин-т горн.дела им. А.А. Скочинского. – 1985. – Вып. 232 – С. 72-77.
3. Анциферов А.В., Захаров В.Н, Глухов А.А. Комплект программ моделирования процесса распространения сейсмических волн в угленосной толще // Каталог прогр. средств/ГосФАП,М.1991, №50910000379