

УДК 550.834:622.12

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ  
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Глухов А.А., Азаров Н.Я.**  
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Стаття присвячена аналізу й узагальненню результатів використання математичного моделювання при сейсмічному прогнозі тектонічних порушень на шахтах Донбасу, а також оцінці ступеня адекватності теоретичних прогнозів і практичних результатів.*

*The article is devoted to the analysis and generalization of results of the use of mathematical modeling when carrying out seismic prediction of tectonic faults in the mines of the Donets Coal Basin, and also the estimation of degree of adequacy of theoretical predictions and practical results.*

В последние годы математическое моделирование заняло прочное место в технологиях прогноза геологических нарушений сейсмическим методом. Методы математического моделирования используются в шахтной сейсморазведке для теоретического изучения структуры и характеристик волновых полей с целью разработки прогнозных критериев, для выбора оптимальных методик проведения сейсмоакустических экспериментов в конкретных условиях, а также для анализа практических результатов [1]. Накопленный опыт позволяет поставить вопрос об анализе и обобщении результатов использования математического моделирования на шахтах Донбасса и о степени адекватности теоретических прогнозов и практических результатов. Этому вопросу посвящена данная статья.

В результате исследований, проводимых в УкрНИМИ, в последние годы разработаны физико-математические модели и программные комплексы [2-4], использование которых позволило теоретически обосновать структуры и характеристики сейсмических волновых полей, которые наблюдаются в реальных условиях при проведении прогнозных экспериментов. Был проведен анализ целого ряда факторов, формирующих волновое поле в угленосной толще, разработаны конкретные методики применения математического моделирования для определения условий отработки угольных пластов [5, 6].

На основе анализа результатов показано, что горно-геологические условия залегания обрабатываемых угольных пластов Украины для любых степеней метаморфизма угля таковы, что информацию о строении углевмещающей толщи преимущественно несут боковые волны сжатия и сдвига, реже – пакеты каналовых волн (не более чем в 15% случаев) [1, 7]. Это послужило основой для выработки методологии многоволновых шахтных сейсмических исследований [1]. Позднее был теоретически обоснован тот факт, что угольные пласты делятся на две сейсмогеологические группы, в первой из которых сейсмоакустический волновод формируется непосредственно угольным пластом, а во второй - угольным пластом и залегающим в кровле или в почве аргиллитом либо сближенными (на расстоянии не более 4 м) пластами. Угольные пласты в каждой из групп в рамках любой стадии эпигенеза формируют сейсмические волновые поля с одинаковой структурой и сходными характеристиками [8]. При этом показано, наиболее информативный прогноз горно-геологических условий залегания осуществляется:

– волновыми пакетами боковых волн сжатия и сдвига, которые распространяются со скоростями продольных и поперечных волн во вмещающих породах с частотным диапазоном от 50 до 200 Гц и от 80 до 300 Гц, соответственно;

– каналовыми волнами с частотным диапазоном 200-500 Гц и скоростью распространения максимума огибающей, равной скорости фазы Эйри (если угольный пласт имеет мощность свыше 1,5 м).

Установлено, что в случае присутствия аргиллита в кровле или почве пласта, а также в случае сближенных пластов (если та-

ковые располагаются на расстоянии не более 4 м) дополнительную информацию об углепородном массиве несут образованные волноводом сложного строения каналовые волны с частотой 200 – 400 Гц в диапазоне между скоростями распространения волн сдвига в угле и в аргиллите (или в породном прослое). При этом волновые пакеты каналовых волн обладают следующими свойствами:

– скорость их распространения пропорциональна, а амплитуда и частота её максимума – обратно пропорциональны мощности аргиллита (породного прослоя между пластами);

– максимальные амплитуды волн сжатия наблюдаются по центрам угольных пластов, тогда как амплитуды волн сдвига – в аргиллите (в породном прослое).

Установлено, что максимальная мощность породного прослоя, при котором для сейсмических полей с характерными для Донбасса частотными характеристиками (диапазон частот 20 – 500 Гц, максимальные частоты максимумов амплитудного спектра не превышают 300 – 350 Гц) сближенные пласты можно рассматривать как волновод, составляет 3 – 4 м. Установлено, что в случае если сближенные пласты располагаются на расстоянии более 4 – 5 м, влиянием второго пласта на поле, формируемое в исследуемом пласте можно пренебречь.

Для проверки данных закономерностей был проведен анализ результатов использования пластовой сейсморазведки на шахтах Украины. Анализировались структуры сейсмических волновых полей в зависимости от строения угленосной толщи, а также результаты проведенных экспериментов, их надежность и эффективность.

Рассмотренные примеры охватывали практически весь спектр характерных горно-геологических условий залегания угольных пластов Донбасса, разнообразие строений волноводов, в том числе и образованных сближенными пластами, широкий диапазон стадий эпигенеза углевмещающей толщи. В частности, были проанализированы результаты десятков сейсмических исследований геологических нарушений угольных пластов Донбасса. Значительная часть рассмотренных случаев приведена в таблице 1, где представлены примеры использования прогноза тектонических нарушений угольных пластов.

Необходимо дать некоторые пояснения. Названия шахт и объединений соответствуют периоду проведения экспериментов. В данных по пласту обязательно указывается, простое либо сложное строение имеет волновод, а также к какой сейсмогеологической группе он относится. Среди прочих методов исследований, метод сейсмической локации (МСЛ) выделен в отдельную группу ввиду особенности структуры наблюдаемых волновых полей. Данные о значении базовой скорости информативных волновых пакетов взяты из отчетов по соответствующим экспериментам. Как правило, при использовании сейсмопросвечивания (МСП) это скорость максимума огибающей волнового пакета. В случае применения метода отраженных волн (МОВ), либо метода сейсмической локации впереди забоя значение скорости соответствует тому, по которому вычислялось расположение нарушения.

Важно отметить, что выбор рабочего частотного диапазона в ряде случаев был вынужденным. Например, при проведении натуральных экспериментов по определению параметров тектонической нарушенности на участке 13-й восточной лавы ш. им. Засядько существенные помехи были вызваны работой механизированного комплекса на расстоянии менее 100 м от места проведения экспериментов, а также буровыми работами.

Помехи были отсечены фильтрацией, рассчитанной на очень узкий диапазон выходных частот.

На основе анализа частотных и скоростных характеристик зарегистрированных на практике волновых пакетов, а также на основе данных поляризионного анализа (если таковой проводился на этапе обработки результатов) в следующем столбце записана природа волновых пакетов. Это продольные боковые волны (БП), боковые волны сдвига (БС), каналовые волны (К), образованные отдельным угольным пластом-волноводом значительной мощности, а также волны (КС), образованные волноводами сложного строения.

Данные приведены в соответствии с отчетами по результатам исследований, а также на основе сохранившихся исходных данных натуральных наблюдений (около 40% случаев). Представлены только те случаи, когда имеющаяся информация в полной мере описывает ситуационную основу и полученные результаты.

Таблица 1  
Примеры использования прогноза тектонических нарушений угольных пластов на шахтах Донбасса

Шахта, Кол-во участков	Пласт, Мощность(м), марка угля, вмещающие по- роды	Строение волновода, Группа	Метод	Рабочий диапазон частот, Гц	Скоростные окна, <b>Скорость максимума,</b> м/с,	Волно- вые па- кеты
1	2	3	4	5	6	7
«Чайкина» ПО «Макеевуголь», на 2 участках	m <sub>3</sub> (2 пакки), 1.6-1.7 м, (Д)	Сложное, №2	МОВ	60-240 80-330	600-800, 700 1400-1600, 1500	КС, К
«Грудовская» ПО «Донецкуголь»	m <sub>3</sub> (2 пакки) 1.4-1.5 м, (Д)	Сложное, №2	МОВ	130-200	1450-1700, 1600	БП
Им. XXI съезда КПСС ПО «Добропольеуголь»	l <sub>3</sub> , 1.06-1.15м, (Г), в почве аргиллит	Сложное, №2	МОВ	150-240 150-240 150-240	000-4000 1700-2200 1500-2100, 2000	БП БС КС
А.А. Скочинского ПО «Донецкуголь», на 2 участках	h' <sub>6</sub> , мощностью 1.3-1.4 м, в почве аргиллит	Сложное, №2	МОВ	100-250 200-400 200-400	1850-2100, 2000 1400-1650, 1550 1100-1200, 1150	БП, БС КС
«Новодонецкая» ПО «Добропольеуголь»	k <sub>7</sub> , 1.75 м, в кровле аргиллит	Сложное, №2	МОВ	160-260	1000-1250, 1100	КС
	k <sub>7</sub> (2 пакки), 1.65-1.82 м, в почве аргиллит	Сложное, №2	МОВ	50-290	1300-1550, 1400	КС
«Белозерская» ПО «Добропольеуголь»	m' <sub>5</sub> , 0.8-0.9 м (Г), в почве и кровле аргиллит	Сложное, №2	МОВ	50-200 100-400 300-400	3900-4000, 1900-2100, 1000-1500, 1200	БП, БС КС
	c' <sub>2</sub> , 0.6-0.7 м в аргиллите	Сложное, №2	МОВ	120-220	1400-1650, 1500	БС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
«Днепровская» ПО «Павлоградуголь»	$c_{10}^6$ , 0.7-1.0 м (Г), в аргиллите	Сложное, №2	МОВ	70-130	1500-1800, 1700	БС
	$d_4$ , 1.5-1.8 м, (Ж)	Простое, №1	МОВ	50-200 150-250	3700-3900 2200-2400	БП, БС
	$d_4$ , 1.8 м, (Ж)	Простое, №1	МСП	50-150 180-200 300-400	3900-4000 2000-2300 800-1300	БП, БС К
«Красноармейская-Западная» №1	$d_4$ , 1.7-1.9 м, (Ж)	Простое, №1	МОВ	60-160	1500-2500	БС
	$m^1_5$ , «Грицинка», 0.6-0.7 м	Простое, №1	МСЛ	150-250 150-250	3350-3500, 3500 2150-2300, 2200	БП, БС
	$l_6$ , 1.1-1.2 м, (А), в кровле углистый сланец	Сложное, №2	МОВ	100-250 100-250	2250-2500, 2400 1150-1300, 1200	БС КС
«Ждановская» ПО «Шахтерск-уголь»	$l_7$ (2 пачки), 1.7 м (Г)	Сложное, №2	МОВ	300-450	1000-1250, 1100	КС
	$l_7$ , 1.24-1.30 м, (Г)	Простое, №1	МОВ	50-350	1300-1700, 1600	К
	$h_8$ (2 пачки), 1.1 м, в почве углистый сланец	Сложное, №2	МОВ и МСЛ	80-230	1000-1300, 1200	КС
Шахтоуправление «Петровское» ПО «Донецкуголь»	$l_1^4$ , (2 пачки), 2.0-2.3 м, в почве углистый сланец	Сложное, №2	МОВ и МСЛ	140-180	1300-1500, 1400	КС
	$k_5$ , (Ж), (2 пачки), 2.2-2.3 м, в кровле аргиллит	Сложное, №2	МОВ	60 – 200, 60 – 200	2500 – 2600, 1700 – 1800	БС КС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
«Коммунист» ПО «Октябрьуголь»	$q_2, 1.03-1.05$ м, (А),	Простое, №1	МОВ	120-200 120-200	3300-3500, 1700-2000, 1800	БП, БС
	$h_4, 0.7-0.8$ м, (Г), на расстоянии 0.6-6.0 м залегает пласт $h_4^1$	Сложное, №2	МСП	180-240 260-400 260-400	3000-3150, 3100 2100-2250, 2200 1600-1750, 1700	БП, БС КС
«Моспінская» ПО «Донецк-уголь»	$h_4, (Г), 0.7-0.8$ м	Простое, №1	МОВ	140-250	3000-3150, 3100 2100-2300, 2200	БП, БС
	$h_4, (Г), 0.65-0.75$ м	Простое, №1	МОВ	140-230	1650-2000, 1700	БС
	$h_4, (Г), 0.7-0.75$ м	Простое, №1	МОВ	150-250 150-250	3000-3150, 3100 2050-2300, 2200	БП, БС
	$h_4, (Г), 0.7-0.75$ м	Простое, №1	МОВ	120-300 120-300	3000-3150, 3100 1500-2000, 1850	БП, БС
	$h_4, (Г), 0.7-0.85$ м	Простое, №1	МСЛ	80-230	1300-1600, 1500	БС
Им. Артема ПО «Ворошиловградуголь»	$h_4, (Г), 0.65-0.75$ м	Простое, №1	МОВ	100-280	1300-1600, 1500	БС
	$k_5$ , мощностью 0.9-0.95 м	Простое, №1	МОВ	120-180	1900-2200, 2000	БС
«Харьцызская»	$q_2^H$ , (2 пачки), 0.92-1.1 м	Сложное, №1	МОВ	40-150	2200-2300, 2200	БС

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
«Комсомолец Донбасса»	$I_6$ , (Т) (3 пачки), 1.45-1.66 м,	Сложное, №1	МОВ	300-450	1600-1900, 1700	БС
	$I_7$ , 0.95-1.05 м. в кровле ар-ГИЛЛИТ	Сложное, №2	МОВ	70-130	1800-2200, 2100	БС
Им. А. Ф. Засядько	$I_L$ , (Ж) (2 пачки), 1,73 - 2,24 м.	Сложное, №1	МСП	100-120 100- 120	3500-3800, 3770 1700-1900, 1800	БП, БС
Им. Батова ГХК «Максеев-УГОЛЬ»	$k_5$ , (ОС) 0,75 - 0,85 м,	Простое, №1	МСЛ	100- 220	1400-1700, 1500	БС



Рассмотрим данные таблиц подробнее. Из представленных почти четырех десятков случаев использования сейсмоакустического прогноза при отработке нарушенных угольных пластов только в 10% случаев в качестве наиболее информативного метода был применен МСП. Подавляющее большинство (около 90%) решаемых задач связано с использованием МОВ для опережающего прогноза горно-геологических условий на участках, куда еще не дошли горные работы. В 20% случаев использование МОВ либо МСЛ было направлено на уточнение расположения крупных тектонических нарушений, в остальных – на определение параметров малоамплитудной тектонической нарушенности.

Можно смело утверждать, что на практике подтверждается установленный теоретически факт, что угольные пласты Донбасса по признаку строения волновода можно разделить на две сейсмогеологические группы. На волноводах простого строения (первая сейсмогеологическая группа) боковые волны сжатия являются информативными приблизительно в 60% случаев; боковые волны сдвига информативны в 90% случаев. В 45% случаев это единственная информативная волна. Менее чем в 5% случаев информацию о нарушении несет «классическая» каналовая волна.

Результаты исследований показывают, что более чем на половине участков (55%), где проводились наблюдения, угольные пласты принадлежат второй сейсмогеологической группе. При этом боковые волны сжатия являются информативными приблизительно в 30% случаев; боковые волны сдвига информативны в 60% случаев. Каналовые волны, соответствующие волноводу сложного строения информативны также в 60% случаев (около 35% случаев от общего числа угольных пластов обеих сейсмогеологических групп). Представляет несомненный методический интерес тот факт, что приблизительно в 30% случаев это единственная информативная волна. И только в 5% случаев информацию о нарушении несет «классическая» каналовая волна.

Следует отметить, что «классические» каналовые волны наблюдаются исключительно на пластах более 1,25 м. Это соответствует теоретическим результатам, полученным в работе [1], согласно которым уверенное наблюдение волн данного типа возможно на пластах более 1,5 м.

В случае использования МСП основную информацию несут боковые волны сжатия и боковые волны сдвига, с частотным диапазоном от 50 до 250, реже до 400 Гц, со скоростью распространения равной скорости распространения волн соответствующих типов во вмещающих породах. Это находится в строгом соответствии с результатами теоретического анализа, изложенного в [1, 7, 8].

В таблице 2 приведены данные о роли волновых пакетов различной природы при прогнозе тектонической нарушенности методами МОВ и МСЛ.

В случае использования МОВ более чем в 70% случаев наиболее информативной волной является боковая волна сдвига. На втором месте по информативности находится каналовая волна, образованная волноводом сложного строения. Пятую часть составляют случаи, когда информативной является боковая волна сжатия. Только в каждом 10-м случае и только на дистанциях до нарушения не более 50-70 м наблюдается «классическая» каналовая волна.

Таблица 2

Использование на практике информативных волновых пакетов различной природы для прогноза тектонических нарушений угольных пластов

Методы	Боковая волна сжатия (%)	Боковая волна сдвига (%)	Каналовая волна, образованная волноводом сложного строения (%)	Каналовая волна, образованная угольным пластом (%)
МОВ	22	72	37.5	9.5
МСЛ	17	50	67	35

В случае использования МСЛ наиболее информативной волной является каналовая волна, образованная волноводом сложного строения. Следующей по информативности идет боковая волна сжатия, затем «классическая» каналовая волна. Разница в распределении информативности волновых пакетов вызвана

различием в дальности прогноза МОВ и МСЛ по базовой методике [9,10]. На сравнительно больших дистанциях использования МОВ ОГТ более высокочастотные каналовые волны претерпевают значительное затухание. Частотный диапазон наиболее информативных боковых волн сдвига в 90% случаев лежит в пределах от 100 до 250 Гц, что соответствует приведенным выше результатам теоретического анализа.

Рассчитанная по разработанной в УкрНИМИ методике [1] эффективность использования сейсмоакустического метода при выявлении тектонических нарушений составляет около 80%. Использование математического моделирования не приводит к повышению этого показателя, объективно ограниченного возможностями базовых методик [9, 10], а также физическими основами протекающих процессов. Однако, такой подход позволяет повысить качество интерпретации информации, извлекая дополнительную информацию о параметрах нарушений. В процессе исследований такой подход был использован на 22 участках 7 шахт Донбасса (см. таблицу 3).

В таблице 4 для сравнения приведены расчетные и реальные характеристики информативных волновых пакетов, которые использовались при определении параметров тектонических нарушений в описанных в данном разделе экспериментах. Их сопоставление показывает высокую степень адекватности используемых методов математического моделирования. Наиболее точно моделируются скоростные характеристики волновых пакетов боковых волн сжатия и сдвига. Погрешность рассчитанных значений не превышает 5 %. Частотные диапазоны реальных колебаний волновых пакетов данных типов находятся в пределах границ расчетных значений.

Что касается практического применения каналовых волн, столь информативных при определении амплитуд тектонических нарушений, необходимо в рамках используемых методик рекомендовать применять частотную фильтрацию с диапазоном частот от 200 до 400 Гц. Это особенно актуально в случаях, если в кровле либо почве угольного пласта присутствует аргиллит либо иная порода с малой плотностью, а также в случае сближенных на расстояние 3 - 5 м угольных пластов либо на угольных пластах

мощностью более 1,5 м. Как показали результаты приведенного выше анализа, такие ситуации составляют около 50 % от общего числа.

Таблица 3  
Использование методов математического моделирования на шахтах Донбасса

Производственное объединение (холдинг)	Шахта	Количество участков
Добропольеуголь	XXI съезда КПСС	1
	Краснолиманская	1
Павлоградуголь	Самарская	1
	Им. Н.И. Сташкова	1
Красноармейскуголь	Красноармейская-Западная №1	2
Донецкуголь	АП «Шахта им. Засядько»	2
	Им. А.А. Скочинского	2
	Южнодонбасская №1	1
	Октябрьская	1
	Моспинская	3
	Бутовка Донецкая	1
Макеевуголь	Им. Батова	1
Октябрьуголь	Коммунист	2
	Комсомолец Донбасса	1
Шахтерскантрацит	60 лет ВОСР	2

В конечном итоге эффект применения математического моделирования достигается за счет выработки рациональных путей отработки угольных пластов. В ряде случаев (например, при определении параметров тектонической нарушенности на участке подготавливаемых к отработке 17-й и 18-й лав ш. «Моспинская», при проходке лавы по пласту  $g_2$  на шахте «Коммунист» и т.д.) экономический эффект достигается за счет исключения затрат по ремонту механизированного комплекса.

Таблица 4

Сравнение расчетных и реальных характеристик информативных волновых пакетов

Шахты, где проводились натурные эксперименты	Пласт	Боковая волна сжатия		Боковая волна сдвига		Каналовая волна	
		Скорость	Частота	Скорость	Частота	Скорость	Частота
ГХК «Шахта «Краснолиманская»»	$k_5$ , двухпачечного строения мощностью 2.2-2.3 м.	<u>2600-3200</u> <b>2500-2600</b>	<u>70-160</u> <b>60 – 160</b>	<u>1700-1800</u> <b>1700-1800</b>	<u>90-270</u> <b>120 – 200</b>	<u>1000-1250</u> <b>Не набл.</b>	<u>200-550</u> <b>Не набл.</b>
Шахта «Коммунист» ГХК «Октябрьуголь»	$q_2$ , мощностью 1.03-1.05 м	<u>3250-3650</u> <b>3100-3500</b>	<u>60-210</u> <b>100-180</b>	<u>2150-2400</u> <b>2250-2400</b>	<u>100-270</u> <b>200 - 300</b>	<u>Не набл.</u> <b>Не набл.</b>	<u>Не набл.</u> <b>Не набл.</b>
Шахта им. А. Ф. Засядько	$l_1$ , сложного строения мощностью от 1,73 до 2,24 метра	<u>3600 – 3900</u> <b>3500–3900</b>	<u>40-180</u> <b>90-160</b>	<u>1700-1900</u> <b>1650-1900</b>	<u>60-280</u> <b>90-160</b>	<u>1250-1450</u> <b>Не набл.</b>	<u>250-550</u> <b>Не набл.</b>
Шахта “Моспинская” ГП «Донецк-уголь»)	$h_4$ , мощностью 0.7-0.8 м, на расстоянии 0.6-6.0 м залегают угольный пласт $h_4^1$	<u>3700-4200</u> <b>3750-3900</b>	<u>120-140</u> <b>110-155</b>	<u>2200-2500</u> <b>2200-2400</b>	<u>180-200</u> <b>160-250</b>	<u>1150–1700</u> <b>1300-1500</b>	<u>350-600</u> <b>180-350</b>
ОАО “Угольная компания “Шахта “Красноармейская-Западная №1”	$d_4$ , мощностью 1.7-1.8 м	<u>3700-4000</u> <b>3700-3900</b>	<u>55- 210</u> <b>50-200</b>	<u>2300-2500</u> <b>2200-2400</b>	<u>60-250</u> <b>150-250</b>	<u>700-1000</u> <b>800-1300</b>	<u>400-700</u> <b>300-400</b>

В некоторых случаях (например, на участке планируемого к отработке выемочного столба 4-ой лавы южной панели блока № 8 пласта  $d_4$  ш. «Красноармейская-Западная № 1») экономический эффект достигается путем снижения затрат на бурение разведочных скважин. Характерны случаи (например, участок 18-й лав ш. Моспинакая, на участке пласта  $k_5$ , шахта «Краснолиманская») когда в результате определения параметров тектонических нарушений к очистные работы проводятся на ранее не планируемых к отработке участках пласта, изменяется программа работ.

В результате прогноза повышается безопасность ведения горных работ. Например, при отработке 13-й восточной лавы ш. им. Засядько при подходе механизированного комплекса к аномальной зоне были приняты меры по регулировке скорости подвигания забоя, что позволило избежать негативных последствий обрушения. Заблаговременный прогноз тектонических нарушений впереди забоя 1-го восточного вентиляционного штрека 1-й восточной лавы западной панели, а также впереди забоя 3-го конвейерного штрека 3-й восточной лавы западной панели ш. им. Скочинского позволил принять меры по предотвращению горных ударов и газодинамических явлений.

Таким образом, итоги анализа позволяют смело утверждать, что на практике подтверждается установленный теоретически факт, что угольные пласты Донбасса по признаку строения волновода можно разделить на две описанные выше сейсмогеологические группы. Использование математического моделирования позволяет достаточно точно описать природу и информативные характеристики сейсмических волновых пакетов. Наиболее точно моделируются скоростные характеристики волновых пакетов боковых волн сжатия и сдвига. Погрешность расчета не превышает 5 %. Частотные диапазоны реальных колебаний волновых пакетов данных типов находятся в пределах границ расчетных значений. Что касается каналовых волн, то итоги анализа показывают, что они встречаются гораздо чаще, чем это принято считать, поскольку обычный подход к интерпретации не учитывает случаев, когда таковые образуются волноводами сложного строения. Это методически очень важный результат, поскольку свидетельствует

о более широком диапазоне применимости подходов, основанных на использовании каналовых волн в качестве информативных.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. - Донецк; ООО "Алан", 2003 - 311 с.
2. Глухов А.А., Анциферов А.В. Современные методы математического моделирования при прогнозе геологических нарушений угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Изд.-во Московского государственного горного университета, 2005. - №8. – С. 119 - 131.
3. Глухов А.А. Физико-математические модели горно-геологических условий залегания угольных пластов // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2003. - № 8. - С. 33 - 35.
4. Комп'ютерна програма „Комплект программ расчета волновых полей формируемых в угленосной толще при проведении прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов сейсмическим методом: А.с. 19233 Україна / А.А.Глухов (Україна). – № 19256; Заявл. 21.11.2006; Зареєстровано 17.01.2007. – 1с.
5. Анциферов А.В. Прогноз тектонической нарушенности отработываемых угольных пластов шахтными сейсморазведочными методами // Проблеми гірського тиску. - Донецк: ДонНТУ. - 2002. - № 8. - С. 62 - 71.
6. Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Компанец А.И. Применение подземной сейсморазведки на шахтах Украинского Донбасса // Глюкауф. - 2001. - № 1 (2). – С. 43 - 45.
7. Анциферов А.В. Обобщенные характеристики волновых полей, формируемых на угольных пластах Украины при применении сейсмоакустического метода прогноза условий залегания угля // Физико-технические проблемы горного производства. - Донецк: ИФГП. - 2002. - Вып.6. - С. 105 - 115.

8. Анциферов А.В., Глухов А.А., Сейсмические волновые поля, регистрируемые на угольных пластах Донбасса при решении задач шахтной сейсморазведки/ Зб. научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск: НГУ, 2005. - № 23. - С. 120 - 128.
9. Методические указания по технологии впередизабойной сейсмоакустической локации разрывных нарушений угольных пластов: РД: Утв. УкрНИМИ 22.09.91. - Донецк, 1991. - 102 с.
10. Методические рекомендации по технологии шахтной сейсморазведки разрывных нарушений угольных пластов с использованием цифровых суммирующих сейсмостанций типа ШСС: РД: Утв. ВГО “Союзуглегеология” 20.04.91. - Донецк, 1991. - 150 с.