

УДК 550.834:622.12

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ
НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА**

Глухов А.А., Компанец А.И. (УкрНИМИ НАН Украины)

У статті наведено результати практичного застосування методики прогнозу тектонічних порушень вугільних пластів, що базується на використанні методів математичного моделювання для аналізу інформації на стадіях проведення прогнозних експериментів і оброблення результатів досліджень.

**PRACTICAL APPLICATION OF SIMULATION AT THE
SEISMIC PREDICTION OF TECTONIC FAULTS IN COAL
BEDS OF DONETSK BASIN**

Glukhov A.A., Kompanez A.I.

The article gives the results of the application of prediction technique of tectonic disturbances in coal seams based on mathematical model approach for data analysis at the stages of predictive experiments and processing of research results.

Заблаговременный прогноз горно-геологических условий отработки угольных пластов является актуальной научно-прикладной проблемой, от решения которой зависит эффективность и безопасность ведения горных работ. Шахтная сейсморазведка зарекомендовала себя одним из наиболее эффективных методов прогноза, позволяющим решать широкий диапазон производственных задач. Данная статья посвящена решению актуальной задачи – разработке эффективных методик прогноза типа и параметров тектонических нарушений отрабатываемых угольных пластов. Дан анализ результатам практического использования разработанной в УкрНИМИ методике, базирующейся на использовании геоинформационных систем и методов математического моделирования для анализа информации на стадиях проведения прогнозных экспериментов и обработки результатов исследований [1,2].

В качестве примера рассмотрим методику и результаты экспериментов по уточнению местоположения Котлинского надвига и прогноза тектонической нарушенности в планируемом к отработке выемочном столбе 4-ой лавы южной панели блока №8 пласта d_4 на участке

Прогноз и управление состоянием горного массива

ш. «Красноармейская-Западная №1». Угольный пласт d_4 состоит из одной угольной пачки (марка угля – Ж) мощностью от 1,5, до 1,8 м. В кровле пласта залегает алевролит мощностью 1,2 – 4,65 м, выше залегает песчаник. В почве пласта залегает алевролит небольшой мощности, на отдельных участках замещаемый песчаником. Схема наблюдений и результаты экспериментов изображены на рис. 1, представляющем собой фрагмент электронного плана горных выработок на участке наблюдений, разработанного с помощью геоинформационной системы «ГеоМарк».

Горными работами, при проходке конвейерного и воздухоподающего ходков блока №8 было встречено множество малоамплитудных тектонических нарушений, а на расстоянии 900 метров от 3-го конвейерного штрека вскрыто крупное тектоническое нарушение с амплитудой смещения более 6 метров. При проходке 3-го конвейерного штрека было встречено несколько тектонических нарушений с амплитудами меньшими мощности пласта.

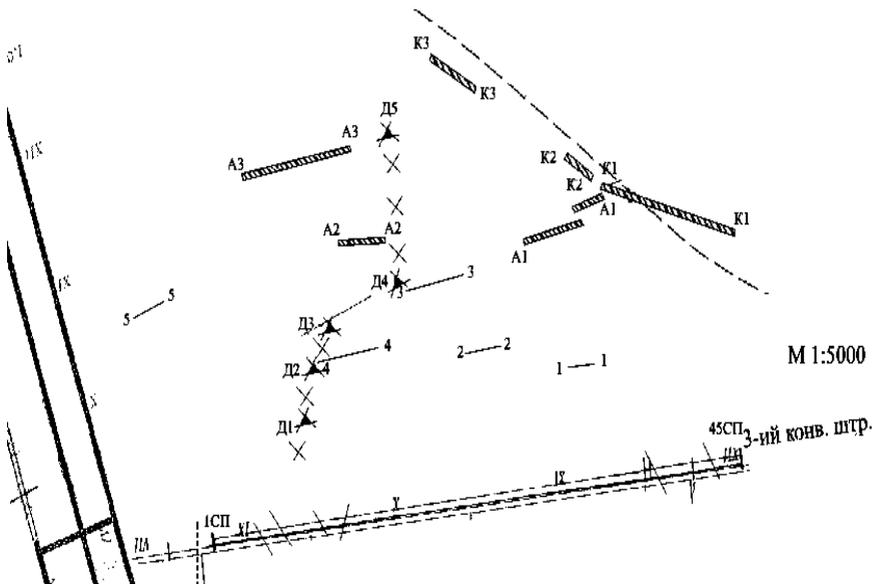


Рис. 1. Схема наблюдений и результаты экспериментов по уточнению местоположения Котлинского надвига и прогноза тектонической нарушенности в планируемом к отработке выемочном столбе 4-ой лавы южной панели блока №8 пласта d_4 на участке ш. «Красноармейская-Западная №1» (фрагмент электронного плана горных выработок на участке наблюдений, разработанного с помощью геоинформационной системы «ГеоМарк»).

На первом этапе исследований был проведен предварительный анализ сейсмического волнового поля на основе априорных данных об участке наблюдений. Волновод имеет простое строение и формируется угольным пластом во вмещающих породах. Для иллюстрации на рис. 2 представлены обобщенные амплитудно-скоростные спектры основных волновых пакетов.

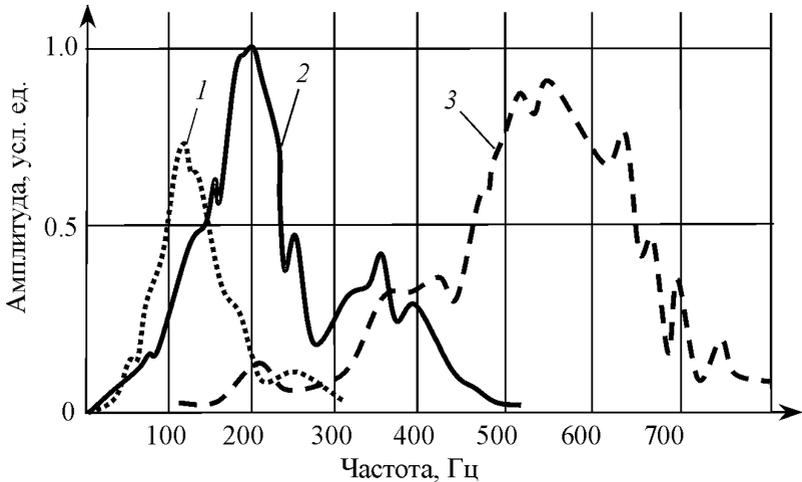


Рис. 2. Усредненные амплитудно-частотные характеристики волновых пакетов проходящих волн, для модели горно-геологических условий залегания пласта d_4 . Представлены спектры боковой волны сжатия (1), боковой волны сдвига (2) и каналовой волны (3).

Согласно результатам расчетов, ударный источник будет формировать волновое поле, состоящее из волновых пакетов боковых волн сжатия, распространяющихся со скоростью волн сжатия в песчанике (частотой от 55-60 до 210 Гц с максимумом приблизительно на частоте 120 Гц), а также из доминирующего волнового пакета боковых волн сдвига (частотой от 60 до 250 Гц в области первого вступления и 300-450 Гц – в хвостовой части). Кроме этого должна формироваться каналовая волна с частотным диапазоном 400-700 Гц и скоростью распространения максимума амплитуды около 800 м/с, что соответствует фазе Эйри.

Рассмотрим амплитудно-частотный спектр отраженного волнового поля, рассчитанный для модели надвига с амплитудой равной мощности пласта и зоной трещиноватости, простирающейся по обе

Прогноз и управление состоянием горного массива

стороны от сместителя на расстояние 20м (см. рис. 3). Степень изменения плотности угля, а также скоростей распространения волн сдвига и волн сжатия составляет 20%. В породах зона аномалии вдвое меньше, а степень изменения характеристик составляет 50% от значений, соответствующих углю. При расчетах учитывался фактор поглощения сейсмических колебаний средой в зоне аномалии.

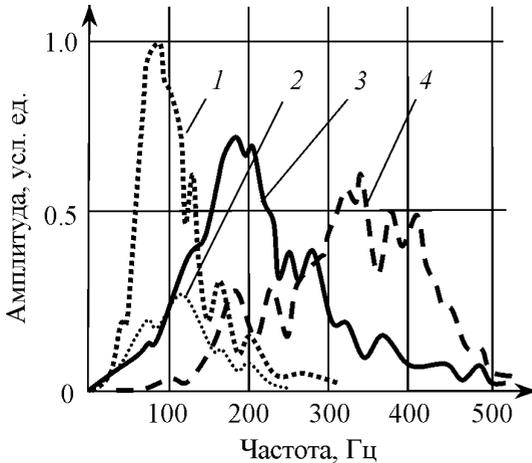


Рис. 3. Усредненные амплитудно-частотные волновых пакетов отраженных волн, для модели горно-геологических условий залегания пласта d_4 с учетом нарушения типа надвига. Представлены спектры боковой волны сжатия (1), обменной волны (2), боковой волны сдвига (3) и каналовой волны (4).

Результаты расчетов показывают наличие четырех волновых пакетов. Это отраженная боковая волна сжатия, обозначенная на рис. 3 цифрой 1, распространяющаяся со скоростью первого вступления 3700-4000 м/с обменная волна (2), распространяющаяся со скоростью около 3100 м/с, боковая волна сдвига (3), скорость которой составляет 2300-2500 м/с, а также каналовая волна (4), первое вступление которой теряется в хвостовой части волн сдвига.

Максимальные значения частот информативных волновых пакетов не превышают 450-500 Гц. При этом спектр боковой волны сжатия (доминирующей в отраженном сигнале) располагается в диапазоне от 30 до 200 Гц, с расположением максимума на частоте 90-100 Гц. Боковая волна сдвига в наиболее высокоамплитудной её части имеет частоту 180-200 Гц, тогда как обменные волны, имеющие амплитуду, составляющую 25-35% от максимальной амплитуды по сейсмограмме имеют диапазон от 50 до 150 Гц. Каналовые волны испытывают наибольшее поглощение в зоне аномалии. Их амплитуда составляет около 50% от максимальной, а частота имеет диапазон

от 150 до 450 Гц. Поскольку «хвостовая» часть пакета боковых волн сдвига и первое вступление каналовых волн накладываются, на частотных характеристиках этот факт отразился определенной корреляцией кривых в области от 200 до 300 Гц.

Таким образом, результаты предварительного анализа позволили предположить, что в качестве информативных волновых пакетов будут использованы отраженные продольные боковые волны. Не исключался также анализ поперечных боковых волн. При этом был сделан вывод о том, что оптимальный для обработки частотный диапазон лежит в пределах от 50 до 250 Гц, а скоростной от 3700 до 4000 м/с, а также от 2400 до 2600 м/с. Предполагалось, что возможна регистрация каналовой волны, имеющей частоту максимума около 350 Гц и скорость распространения менее 1800 м/с.

Перейдем к описанию прогнозных экспериментов. Для решения поставленной задачи был выбран метод шахтной сейсморазведки отраженными волнами по способу общей глубинной точки (МОВ ОГТ). Сейсмическая съемка была выполнена из 3-его конвейерного штрека в сторону выемочного столба 4-ой лавы южной панели блока №8. Расположение системы возбуждения и регистрации сейсмических волн, включая расположение и ориентацию сейсмоприемников, была выбрана оптимальной для возбуждения и приема продольных волн. Для регистрации преимущественно продольных отраженных волн ось максимальной чувствительности сейсмоприемников была направлена в угольный пласт перпендикулярно стенке горной выработки. Точки возбуждения и приема сейсмических волн, расположенные с шагом 15 м и выносом 60 м, перемещались вдоль горной выработки согласно методу ОГТ, обеспечивая 6-ти кратное перекрытие отраженных волн (см. рис. 4).

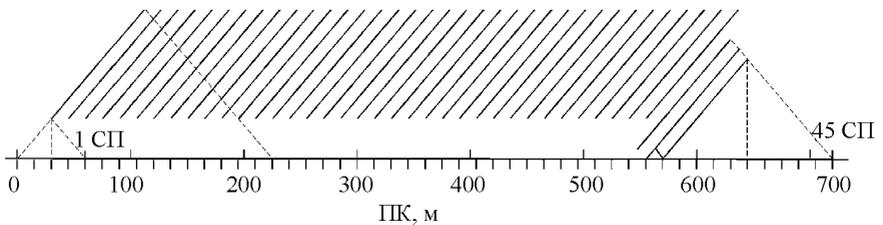


Рис. 4. Система сейсмических наблюдений в 3-м конвейерном штреке пласта d_4 .

Сейсморазведочные работы были проведены в соответствии с методикой, разработанной в УкрНИМИ [3]. Обработка сейсмических записей МОВ ОГТ проводилась с помощью специализированного программного обеспечения. На первом этапе обработки была проведена оценка скоростей продольных и поперечных волн в песчанике. При этом было установлено, что максимальной интенсивностью обладают прямые волны, распространяющиеся от источников к приемникам по породе вдоль горной выработки, а также по воздуху. Времена регистрации этих волн использовались для оценки скорости их распространения. Было установлено, что значения скоростей продольных и поперечных волн составляют соответственно $V_p = 3700\text{--}3900$ м/с и $V_s = 2200\text{--}2400$ м/с. Эти значения использовались для пробного суммирования и при анализе волнового поля на предварительных временных разрезах ОГТ.

Для выбора параметров обработки был проведен частотный и скоростной анализ исходного волнового поля, а также выполнено пробное суммирование по общим глубинным точкам. По результатам расчета амплитудно-частотных спектров в интервале регистрации отраженных продольных волн был выявлен максимум спектра в интервале 80–120 Гц

(см. рис. 5), что полностью соответствует результатам расчетов, представленным на рис. 3.

На следующем этапе обработки тестировались параметры нормирования амплитуд, ввода кинематических поправок, полосовой фильтрации, подавления регулярных помех. Результатом перебора параметров обработки являлись промежуточные временные разрезы ОГТ, по каждому из которых строились отражающие площадки на плане пласта с целью уточнения картины нарушения. В качестве окончательных были выбраны несколько временных разрезов ОГТ с лучшим качеством

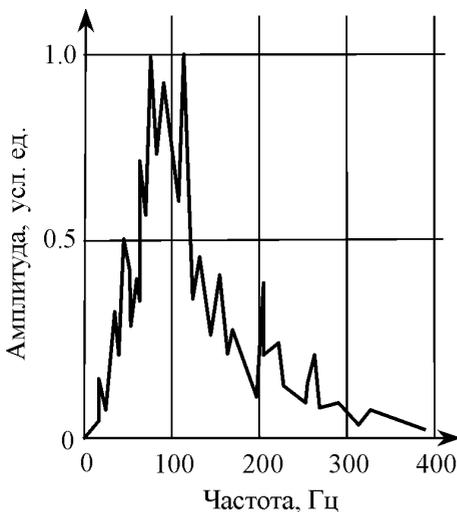


Рис. 5. Характерный частотный спектр реальных сейсмограмм, полученных в результате наблюдений в 3-м конвейерном штреке пласта d_4 .

Прогноз и управление состоянием горного массива

выделения отраженных волн. В результате была сформирована окончательная тектоническая модель участка работ.

На рис. 6 представлен фрагмент временного разреза, полученного без нормирования амплитуд в результате фильтрации записей в диапазоне частот 30 – 170 Гц и суммирования по ОГТ с использованием реальной скорости ($V_p = 3700$ м/с).

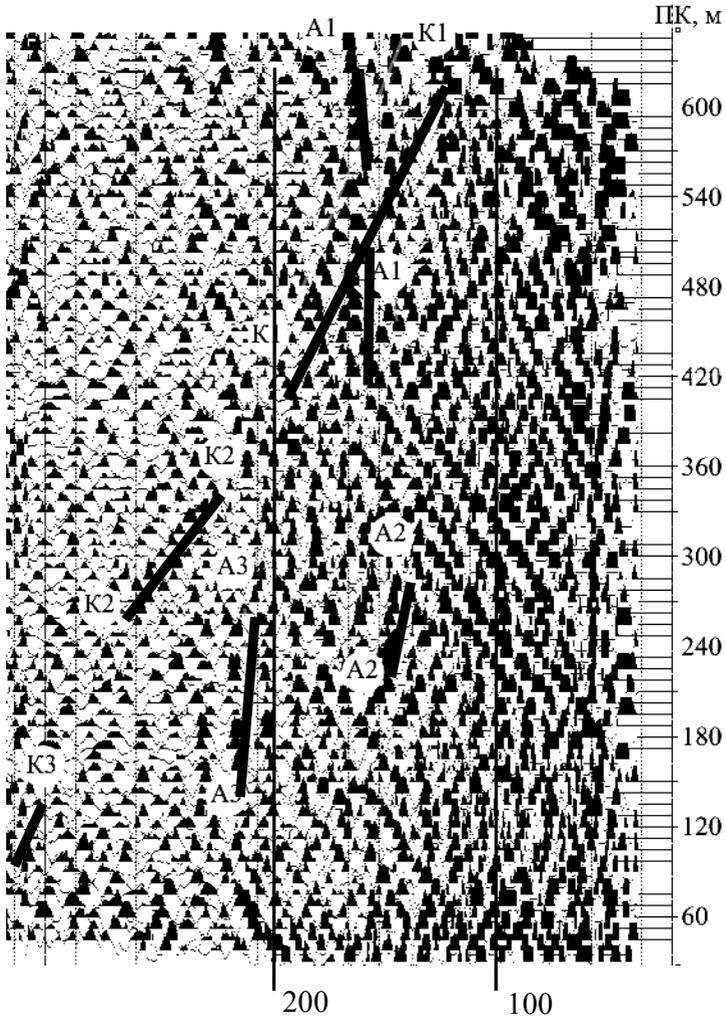


Рис. 6. Фрагмент временного разреза полученного в результате обработки данных наблюдений в 3-м конвейерном штреке пласта d_4 .

Прогноз и управление состоянием горного массива

В интервале пикетов профиля 420 – 600 м на временах 130 – 160 мс наблюдаются отражения от площадок К1 и А1. Кроме этого выделяются отражения от двух наклонных площадок К2 и К3, а также от площадок А2 и А3, расположенных почти параллельно 3-му конвейерному штреку.. Значения t_0 отраженных волн на окончательных временных разрезах были пересчитаны в расстояния отражающих площадок от линии профиля с использованием значения скорости $V_p = 3,7$ м/мс. Отражающие площадки были построены на плане пласта d_4 способом окружностей (см. рис. 1).

Тектонические нарушения 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 имеют амплитуду смещения меньше мощности пласта, так как при относительно близком расположении к линии профиля им соответствуют слабые отраженные сигналы. Более уверенно прослеживаются отражающие площадки А1, А2, А3, которые вероятно являются апофизами Котлинского надвига с амплитудой смещения порядка и выше мощности угольного пласта. Отражающие площадки К1, К2, К3 соответствуют одной из ступеней Котлинского надвига с амплитудой смещения, большей мощности пласта. Слабые отражения от площадок К2 и К3 объясняются потерей волновой энергии при прохождении либо через зоны интенсивной трещиноватости, либо через зоны скопления малоамплитудной тектоники. Зоны дифракции Д1, Д2, Д3, Д4, Д5 являются проявлением нарушений или зон интенсивной трещиноватости, расположенных по нормали к линии профиля, хотя волны могут дифрагировать на краях тектонических нарушений, которые проявляются в угольном пласте фрагментарно, что характерно для поля шахты «Красноармейская-Западная».

В приведенном примере предложенные в результате проведенного теоретического анализа волновых полей параметры проведения эксперимента оказались оптимальными, что позволило провести прогноз с наименьшими затратами и, в то же время, с высокой точностью. Результаты прогноза были подтверждены последующей отработкой пласта.

Результаты данной статьи могут быть использованы специалистами в области шахтной сейсморазведки для разработки и усовершенствования методик сейсмического прогноза горно-геологических условий залегания угольных пластов и способов обработки результатов сейсморазведки для повышения эффективности и надежности прогноза геологического строения горного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов А.А. Сейсмические волновые поля, регистрируемые на угольных пластах Донбасса при решении задач шахтной сейсморазведки/ Сб. научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск: НГУ, 2006. - № 26. – С.65-74.
2. Анциферов А.В., Азаров Н.Я., Глухов А.А., Компанец А.И. Влияние геологических факторов на параметры волновых полей при решении задач шахтной сейсморазведки / Зб. научных трудов “Проблемы горного давления”. - Донецк: ДонНТУ, 2005. - №13. - С.68 - 85.
3. 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.