

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОКАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ КАТАСТРОФ

А.Н. Шашенко, В.Н. Журавлев, М.С. Дубицкая, Государственное высшее учебное учреждение «Национальный горный университет», Украина

Приведены теоретические обоснования и практические результаты использования акустической геолокации в условиях угольных шахт Украины. Установлено, что применение этого метода для прогноза геологического строения угольного массива позволяет заблаговременно организовать необходимые инженерные мероприятия для предупреждения подземных катастроф.

Крупные аварии на шахтах Украины случаются с ужасающей регулярностью, при этом унося с собой сотни жизней подземных рабочих. Помимо человеческого фактора основной причиной всех взрывов является внезапное проявление газо-динамического явления.

Украина не может прекратить отработку пластов опасных по внезапным выбросам, с повышенной газоносностью и пылеопасностью, тектоническими нарушениями и слабыми боковыми породами, поскольку отсутствует достаточное для нужд страны количество

запасов угля с горно-геологическими условиями, безопасными при их эксплуатации,

Существует ряд причин, вызывающих увеличение количества подземных катастроф горнодобывающего комплекса Украины. Среди лидирующих стоит отметить непрерывное увеличение глубины разработки месторождений и связанные с этим катастрофические проявления горного давления. Большое влияние оказывает увеличение производственной мощности горнодобывающих предприятий и концентрация горных работ на основе высокопроизводительной техники. Несовершенство способов прогноза геологического строения угольного массива провоцирует внезапные столкновения с невыявленной геологией, которая может содержать в себе скрытые возможности накопления метана и газа. Как следствие, эти и ряд других причин корректируют направления дальнейшего эффективного развития горнодобывающего комплекса Украины.

Нарушенность угольного массива в наибольшей степени определяет его способность к газоотдаче и разрушению. Во внезапном выбросе угля и газа принимает участие только тот метан, который успевает за время протекания выброса выйти из блоков в трещины разрушающегося угля.

Опыт ведения горных работ на шахтах Донбасса аргументирует важность прогнозирования зон распространения мелкоамплитудных тектонических нарушений угольных пластов. Из-за своей сложности эта проблема представляет большой научный интерес и имеет непосредственное практическое применение, поэтому над ее решением работает множество исследователей и научных организаций. Надежное прогнозирование мелкоамплитудных тектонических нарушений остается нерешенной проблемой.

На сегодняшний день накопился достаточно большой опыт прогнозирования разрывных нарушений на всех стадия освоения месторождения. Используются как самостоятельные методики, так и комплексные подходы. Известны различные методы выявления таких нарушений: графические, графоаналитические, геофизические, геологические и вероятностно-статистические и др. На сегодняшний день прогноз тектонических нарушений осуществляется в двух направлениях: прогноз положений и параметров отдельных нарушений, и количественная оценка нарушенности угольных пластов.

Как отмечают исследователи [1] более 90% газодинамических явлений на шахтах Донбасса происходит в местах мелкоамплитудных пликативных и дизъюнктивных тектонических нарушений. Ими исследовано распределение внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса по видам мелкоамплитудных геологических нарушений (табл. 1).

Таблица 1

Распределение внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса по видам мелкоамплитудных геологических нарушений [1]

Вид геологического нарушения	Число внезапных выбросов		
	на крутых пластах	на пологих пластах	всего по Донбассу
Пережим, утонение пласта	124	68	192
Раздув, утолщение пласта	166	72	238
Изменение мощности пласта и отдельных пачек	58	31	89
Размыв пласта, замещение угля породой или породы углем	28	10	38
Сдвиг, надвиг пласта	18	70	88
Сброс, взброс пласта	9	44	53
Изгиб, флексура, изменение угла падения пласта	6	13	19
Трещины, заколы, разрывы пласта	1	35	36

При этом важно отметить, что исследования [2] показывают увеличение количества малоамплитудных геологических нарушений угольных пластов с увеличением глубины разработки месторождений (рис.1)

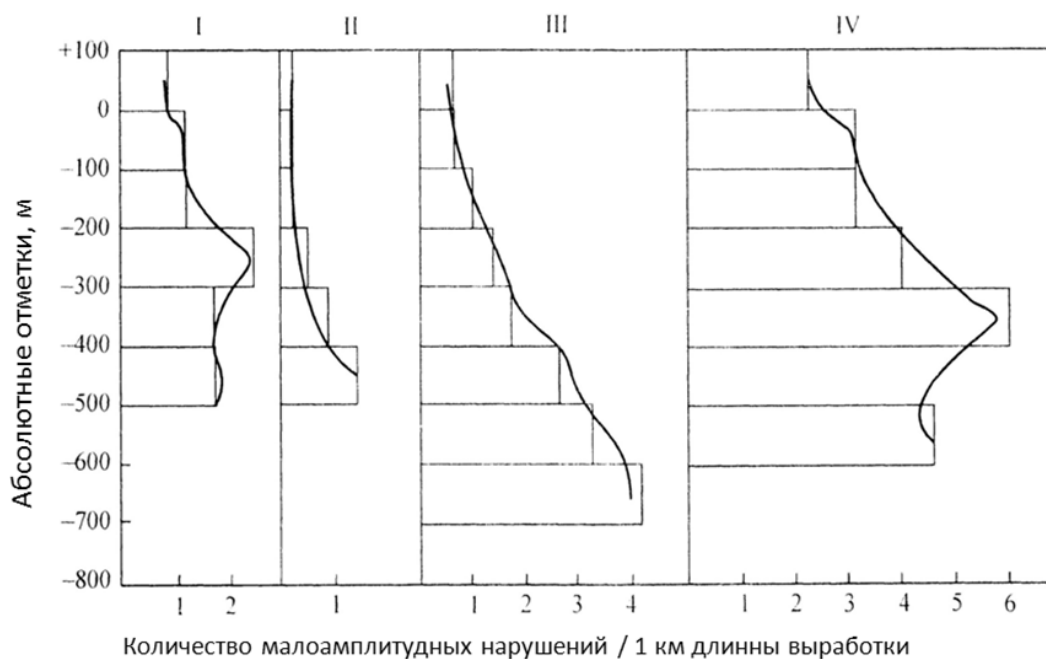


Рис. 1 - Изменение плотности (шт/км) малоамплитудной нарушенности угольных пластов с глубиной. Шахты: I – им. Ю.А. Гагарина, II – «Комсомолец, III – им. В.И. Ленина, IV – «Кочегарка»

Устойчивое увеличение числа нарушенных пластов с ростом глубины их расположения [3] также показывает анализ геологических показателей, приведенных в Прогнозном каталоге шахтопластов Донецкого угольного бассейна [4] (рис.2)

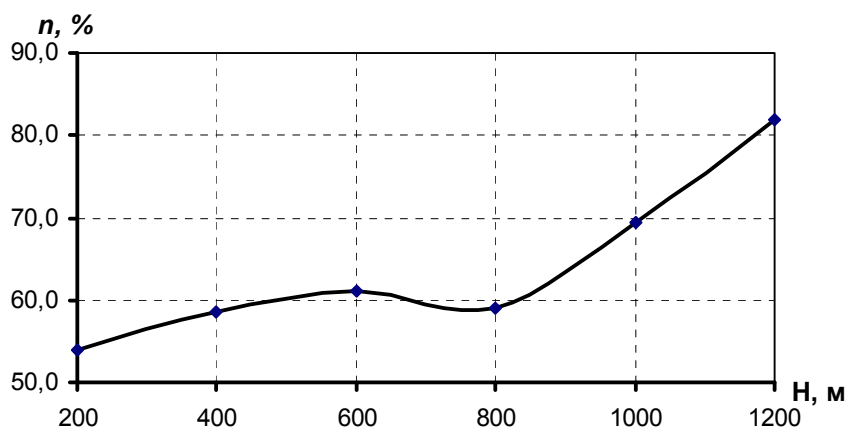


Рис. 2 - Зависимость частоты нарушенности угольных пластов n от глубины их расположения H

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых предполагает дальнейшее увеличение глубины разработки [5]. Так, интенсивная добыча угля в Донбассе привела к увеличению средней глубины разработки на шахтах за последние 25 лет почти на 200 метров (рис. 3), а существующие темпы разработки способствуют ее ежегодному понижению на 10-15 м [6]

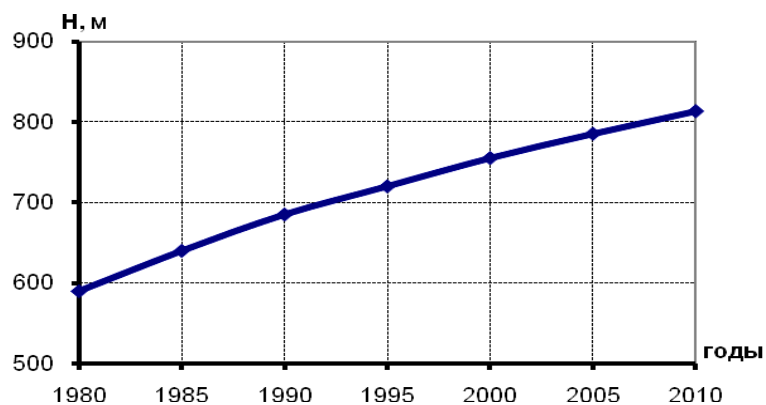


Рис. 3 - Рост средней глубины разработки в Донбассе

Таким образом, если комплексно проанализировать рост средней глубины разработки в Донбассе и устойчивое увеличение числа нарушенных пластов с ростом глубины их расположения, приходим к выводу, что одной из ключевых задач горнодобывающего комплекса Украины, нуждающихся в решении, является совершенствование способов прогноза разрывных геологических нарушений угольных пластов.

Возможным эффективным и надежным методом оперативного прогноза состояния породного массива является метод акустической геолокации. Этот подход к оценке нетронутой части породного массива с помощью активного зондирования акустическими сигналами значительно проще, как в части обеспечения вычислительным аппаратом, так и в части получения оперативной информации.

Авторами была поставлена задача совершенствования способа прогноза невыявленных малоамплитудных геологических нарушений породного массива методом неразрушающего контроля уже в процессе отработки лавы.

В качестве объекта исследований выбрана лава № 1086 характеризующаяся наличием зон геологических нарушений, удобством проведения акустических измерений с применением аппаратуры АК-1М благодаря наличию пройденных подготовительных выработок по бортовому и сборному штрекам и наличию линии связи.

Наличие пройденных подготовительных выработок вдоль неотработанной части столба позволяет обеспечить возможность его акустического попикетного «просвечивания» с целью выявления возможных неоднородностей в виде геологических нарушений и локализовать места их расположения

Исследования проводились по подготовленным к измерениям шпурам на пикетах №№ 19,22,25,34,44 (согласно плана отработки павы). Датчики, попарно последовательно переставляются вдоль всей длины лавы в шпуры через равные интервалы. При этом один датчик устанавливался в скважину, другой датчик находится в штреке в зоне действия заряда ВВ. Шпуры с ВВ и скважины с датчиком расположены соосно (в разумных допусках) по разные стороны лавы. Извлечение датчика из скважины и перенос на новое место осуществляется параллельно с наращиванием линии связи по двум выработкам одновременно. Шпур готовится под следующий заряд ВВ и к нему переносится датчик №2 со второй линии связи. С одной стороны горного массива, мощностью 287 метров, инициировался волновой пакет методом взрыва ВВ массой 400 гр., время взрыва t_0 фиксировалось датчиком вибраций 1. Функция энергии волнового пакета, диспергировавшего в углепородном массиве, фиксировалась приемником – датчиком вибраций 2, расположенном на другой стороне массива.

Сигналы датчиков передавались на поверхность, где синхронно преобразовывались в цифровую форму с параметрами: динамический диапазон квантования 16 бит, частота дискретизации $f_{\Sigma} = 41100\text{Hz}$ и записывались на диск персонального компьютера. Программирование алгоритма обработки производилось в среде пакета программ MatLab.

Обработка информации заключалась во взаимной увязке всех полученных данных с целью получения целостной картины процесса изменения напряженного состояния массива и отбора промежутков времени, соответствующих проведению контрольных взрывов в выработке. Этот отбор производился на основании данных, полученных по линиям связи из выработки и зарегистрированных на ПК.

Анализ графиков датчика вибраций позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы содержат 3 – 4 волновых пакета, первый является информационным, остальные искажены отражениями от стенок волновода;
- сигналы для всех пикетов отличны друг от друга, что соответствует различным волновым векторам и фазовым скоростям [7] составляющих пакета;
- без расчёта параметров, очевидно, что сигналы не обладают свойством стационарности, т.о. необходимо учитывать возможную погрешность при применении методов спектрального анализа [8];
- низкочастотная огибающая первого волнового пакета модулирована высокочастотными компонентами, которые несут информацию о неровностях стенок волновода.

Анализ результатов расчётов полных фаз сигналов приведенных позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы несущих с минимальной девиацией фазы отличаются от максимальных составляющих спектрального анализа, что соответствует выводам о погрешностях последнего;
- максимальные девиации фазы наблюдаются на временных интервалах, соответствующих расстояниям до геологических нарушений по оси волновода при масштабировании временного интервала анализа T_x на ось x волновода.

Для анализа высокочастотных компонент несущих информацию о неровностях стенок волновода в сигналах была отфильтрована несущая с частотами (60 – 120)Hz и выполнены расчёты полной фазы в соответствии с предыдущим анализом. Анализ этих расчётов позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы несущих с минимальной девиацией фазы, также как и в предыдущем анализе, отличаются от максимальных составляющих спектрального анализа, что соответствует выводам о погрешностях последнего;
- частоты несущих с минимальной девиацией фазы на порядок выше частот низкочастотной огибающей, что соответствует разрешению этих сигналов по оси x ;
- информативность исследованных сигналов должна быть исследована дополнительно после выработки массива на исследуемом участке лавы.

В соответствии с выводами анализа низкочастотных и высокочастотных сигналов геолокации были разработаны прогнозные карты геологических нарушений на исследуемом участке.

Приведенные результаты обработки акустической информации, полученной на основании экспериментов по прозвучиванию целика неотработанной части лавы 1086 основаны на использовании ранее известных в технике радиолокации принципов анализа отраженных от объектов сигналов, принятых на приемной стороне. При этом учитывалось доплеровское смещение частот в спектре сигналов, вызванное одно, двух и более кратным их отражением от границ возможных внутренних поверхностей, характерных для рассматриваемого объекта исследований. Для источника сигнала подразумевалось наличие информации о главных его параметрах в виде возмущения δ - функций известной мощности. Сложность обработки акустической информации, полученной из углеродного массива классическими подходами, применяемыми в технике радиолокации, заключаются в различии прочностных (скоростных) параметров среды распространения (постоянной в случае использования электромагнитных волн), вызванной неоднородностью горного массива, непостоянством

среды в пределах одного слоя, а также изменениями свойств среды за счет вариаций напряженного состояния.

В данном исследовании авторами в качестве источника виброакустического сигнала использовался заряд ВВ. В дальнейших исследованиях планируется использовать в качестве источника сигнала звук работающих механизмов комбайна. При анализе сигнала будут учтены скорость передвижения комбайна, скорость вращения фрезы (количество оборотов в минуту или секунду), количество зубцов на фрезе, количество фрез на комбайне, физико-механические свойства пород сканируемого массива.

Разработанная методика проведения исследований подтвердила свою работоспособность в целях обеспечения томографии нетронутой области массива для условий шахты «Днепровская».

Анализ существующих методов прогноза указывает на необходимость разработки метода, который бы сочетал в себе как низкую стоимость, так и минимальную трудоемкость, и более полно использовал накопленную информацию о вскрытых на соседних с прогнозным участком малоамплитудных геологических нарушениях. Как было доказано в статье если комплексно проанализировать рост средней глубины разработки в Донбассе и устойчивое увеличение числа нарушенных пластов с ростом глубины их расположения, приходим к выводу, что растет вероятность возникновения внезапных подземных катастроф, и необходимо принять все возможные меры для их пресечения. Существующие в настоящее время методы прогноза не обеспечивают достаточную надёжность и достоверность полученных результатов.

Практика разработки угольных месторождений свидетельствует, что большинство шахтных полей имеет нарушенное залегание угольных пластов. В связи с этим ключевая задача горнодобывающего комплекса Украины заключается в необходимости разработки метода прогноза малоамплитудной геологической нарушенности угольного массива, который более полно использует накопленную информацию о вскрытых и подтвержденных нарушениях, позволяющих достоверно определить амплитуду разрывов на проектируемых участках с достаточно высокой вероятностью и минимальными затратами.

Список литературы.

1. Фейт Г.Н. Тектоно-физический эффект зональной генерации метана в угольных пластах / Г.Н. Фейт, О.Н. Малинникова // Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: Матеріали II міжнародної конференції. – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 59-68.
2. Лукинов В.В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – К.: Наук. думка, 2008. – 352с.
3. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1982. – 267 с.
4. Солодянкин А.В. Актуальные задачи обеспечения устойчивости выработок при пересечении зон геологических нарушений / А.В. Солодянкин, В.В. Янко // Материалы международной конференции «Перспективы освоения подземного пространства». – Днепрпетровск: РИК НГУ, 2008. – С. 43-46.
5. Шашенко О.М. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт: монографія / О.М. Шашенко, О.В. Солодянкін, А.В. Мартовицький. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. – 400 с.
6. Янко С.В. Основные направления технического развития шахт Украины / С.В. Янко // Уголь Украины. – 1993. – № 1. – С. 8-11.
7. Журавлёв В. Н. Свойства стационарности зондирующего угольный пласт виброакустического информационного сигнала / В. Н. Журавлёв, Е. В. Масленников, И. В. Кондратюк // Сбірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ. - 2010. - № 34, т. 1. – С. 192 – 199.
8. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб: Питер. – 2001. – 752с.