

УДК 622.2: 550.83

М.С. ДУБИЦКАЯ, канд. техн. наук, Д.В. КЛИМЕНКО, ст. преподаватель,
ГВУЗ “Национальный горный университет”

ГЕОАКУСТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ МЕЛКОАМПЛИТУДНОЙ ТЕКТониКИ УГЛЕПородНОГО МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СТРУГОВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

В статье решена актуальная научно-техническая задача повышения эффективности прогноза малоамплитудных геологических нарушений угольных пластов методом неразрушающего контроля. Приведены результаты шахтных исследований распространения акустических колебаний в сложноструктурном углепородном массиве с геологическими нарушениями при использовании различных способов генерации зондирующего акустического сигнала.

Приведенные результаты обработки акустической информации, полученной на основании экспериментов по прозвучиванию целика неотработанной части 165 лавы на шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» 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.

Предложенная методика обработки волнового пакета, отличается от известных тем, что в ее основу заложена фазовая демодуляция функции спектральной плотности мощности с применением метода низкочастотного эквивалента. Методика позволяет определить геометрические параметры неоднородностей при прохождении выработок в зонах геологических нарушений.

На основе сравнительного анализа установлено, что разработанная методика проведения исследований подтвердила свою работоспособность в условиях отработки угольного пласта струговым комплексом. На основании этого был сделан вывод о необходимости комплексного подхода к оперативному прогнозу структуры углепородного массива при внедрении струговой технологии добычи в условиях угольных шахт Украины.

Ключевые слова: акустическая геолокация, малоамплитудные геологические нарушения, зондирующий сигнал, модуляционные характеристики сигнала, амплитудно-фазовая модуляция, низкочастотный эквивалент, фазовая демодуляция.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При подготовке шахтного поля к отработке недостаток геологической информации нередко приводит к тому, что в процессе работы лавы обнаруживаются нарушения в угольном пласте, которые вносят существенные поправки в технологический процесс, вплоть до его остановки, демонтажа и нарезки новой лавы. Такие незапланированные нарушения технологического характера приводят к существенным финансовым потерям, которые могут исчисляться десятками миллионов гривен. Кроме того, с геологическими нарушениями разрывного типа нередко связаны динамические проявления горного давления, такие как внезапные выбросы угля и газа, что может привести не только к финансовым потерям, но и к человеческим жертвам.

Основными тенденциями стратегического развития угольных шахт Украины, включая шахты входящие в состав ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», является внедрение высокопроизводительной техники при отработке угольных пластов и проходке выработок, повышение качества производимой продукции при одновременном повышении уровня безопасности работающих и снижении отрицательной нагрузки на окружающую среду.

В частности, реализация такого подхода осуществляется за счет внедрения современных струговых установок, которые позволяют достичь производительности забоя 3000-3500 тонн в сутки без присутствия человека в лаве.

Анализ исследований и публикаций. Анализ геологического строения угольных месторождений, приведенный в работах различных авторов, показывает устойчивое увеличение числа мелкоамплитудных разрывных геологических нарушений в угольных пластах с ростом глубины их расположения [1-4]. Часть этих нарушений обнаруживается при геологической разведке, часть при проведении горных выработок, однако значительное их количество остается невыясненным. Это обстоятельство обнаруживается уже в процессе отработки лав, что нередко приводит к нарушению производственного цикла и большим финансовым потерям.

На сегодняшний день накопился довольно большой опыт прогнозирования разрывных нарушений на всех стадиях освоения угольного месторождения [5-9]. В практике разведочных работ применяются графические, геофизические, геологические, маркшейдерские, физико-

химические, тектонофизические, эмпирические и другие методы выявления мелкоамплитудных тектонических нарушений. Среди них наибольшее распространение получили геофизические, поскольку они, во-первых, дают более надежный результат по отношению к другим способам, во-вторых, они более технологичны в условиях полностью функционируемых горных выработок.

Существующие методы геофизического прогноза скрытых геологических нарушений обладают надежностью, зачастую не превышающей 50-70% [5,9,10]. В связи с этим установление новых закономерностей между информационной составляющей акустического сигнала и параметрами геологического нарушения и совершенствование методов обнаружения скрытых дизъюнктивов представляет собой актуальное научно-техническое задание, которое имеет важное народно-хозяйственное значение.

Постановка задания. Струговая установка представляет собой комплект оборудования для узкозахватной выемки и доставки угля, состоящий из струга, верхних и нижних приводов с электродвигателями, скребкового передвижного забойного конвейера, системы гидравлических или пневматических домкратов. Струг принудительно перемещается вдоль лавы между забоем и конвейером, разрушая пласт на глубину до 70-100 мм по всей его мощности или с оставлением верхней пачки угля и последующим её обрушением под действием силы тяжести. Энерговооружённость струговой установки составляет 440-800 кВт. Скорость движения струга 0,6-1,8 м/сек, перемещения скребковой цепи конвейера 0,6-1,2 м/сек.

В горногеологических условиях Западного Донбасса такая технология не применялась до последнего времени. При внедрении струговой технологии отработки тонких угольных пластов в 2011 году на шахте «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» возник целый ряд проблем на всех этапах ведения работ, связанных с конструкцией крепи и особенностями извлечения угля.

При интенсивной отработке угольных пластов серьезную угрозу для работающих в шахте людей представляет метановыделение. На поддержание шахтной атмосферы в пределах допустимых норм затрачиваются значительные средства. Газодинамические явления неразрывно связаны с геологическими нарушениями дизъюнктивного типа в угольных пластах. Поэтому оперативный прогноз строения нетронутой части интенсивно обрабатываемой лавы представляет не только технологический интерес, но и острую необходимость с целью повышения безопасности шахтеров.

В этой связи необходим комплексный подход к оперативному прогнозу структуры углепородного массива при внедрении струговой технологии добычи в условиях угольных шахт Украины. Поэтому в работе были проведены исследования в струговой лаве шахты «Степная».

Изложение материала и результаты. Исследования проводились в лаве 165 пласта. Горно-геологические условия лавы характеризуются наличием потенциально опасных зон геологических нарушений. Благодаря наличию пройденных подготовительных выработок по 165 бортовому и 167 сборному штрекам и наличию линии связи, данная лава удобна для проведения акустических измерений. Для измерений применялась аппаратура АПСС-1 [11].

Пройденные подготовительные выработки вдоль неотработанной части столба обеспечивают возможность акустического попикетного «просвечивания» массива. Цель этого зондирования заключается в выявлении возможных не вскрытых ранее неоднородностей и оконтуривание выявленного при проходке 165 бортового штрека геологического нарушения $H=0,3<75^\circ$, которое не было вскрыто в 167 сборном штреке.

Исследования проводились по подготовленным к измерениям шпурам на пикетах 160, 150, 140, 130. План отработки лавы приведен на рис. 1а.

Исследования проводились в 2 этапа. I-й этап (рис. 1б) – «прозвучивание» массива путем генерирования искусственного акустического сигнала ударом кувалды по пике, предварительно забитой в угольный пласт на ПК130, 140, 150, 160 и 170 по 165 бортовому штреку. I-й этап проводился в первую смену, поскольку в эту смену не ведется добыча угля стругом.

Датчик последовательно переставлялся вдоль лавы по 167 сборному штреку в шпур диаметром 42 мм и глубиной 0,5 м через равные интервалы на ПК 160, 150, 140 и 130. Шпуры с датчиком и пики, на которых производился удар, расположены соосно (в разумных допусках). Причем, когда датчик был установлен в один шпур, он зафиксировал сгенерированный сигнал со всех четырех точек удара. После того, как по 165 бортовому штреку поочередно были осуществлены удары по пикам (по 7 для каждого опыта), датчик переносился по 167 сборному штреку на следующую точку, устанавливался в шпур, и удары на каждой точке удара повторяли (по 7 для каждого опыта).

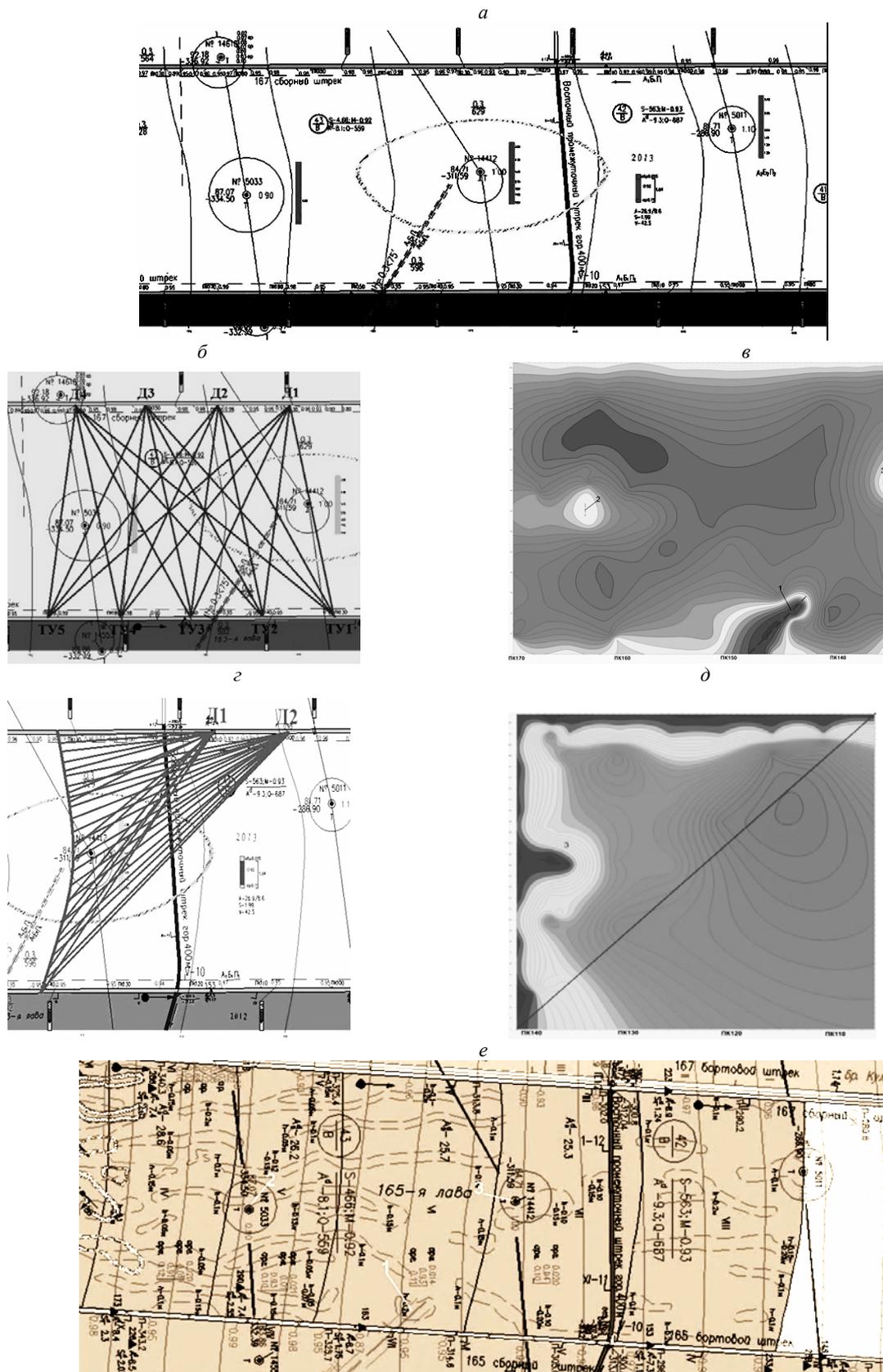


Рис. 1. Исследуемый участок лавы 165 (гор. 490 м пласт): а – план отработки лавы; б – схема проведения I-го этапа измерений; в – оценка структуры пласта по итогам I-го этапа исследований; г – схема проведения II-го этапа измерений; д – оценка структуры пласта по итогам II-го этапа исследований; е – выкопировка из фактического паспорта отработки лавы

Таким образом, с одной стороны массива (на 165 бортовом штреке), мощность которого 300 метров, инициировался волновой пакет методом удара кувалдой по пике, зафиксированной в угольном пласте, а с другой стороны (на 167 сборном штреке) сейсмоприемником АПСС-1 фиксировалась функция энергии волнового пакета [12-16], диспергировавшего в углепородном массиве. Струг на момент проведения первого этапа находился на ПК189 по 167 сборному штреку и на ПК197 по 165 бортовому штреку.

II-й этап (рис. 1з) эксперимента заключался в «прозвучивании» массива путем генерирования искусственного акустического сигнала режущим механизмом работающего струга в процессе выемки угля. Регистрация сигнала осуществлялась одним датчиком, который поочередно устанавливался в заранее подготовленные шпурсы по 167 сборному штреку.

На шахте «Степная» установлена и успешно функционирует система УТАС (унифицированная телекоммуникационная система диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами). Одними из ее функций являются передача, обработка и отображение на диспетчерском пункте местонахождения струга в любой момент времени. Поэтому для дальнейшей интерпретации зарегистрированных данных можно успешно использовать ее данные. Для этого было синхронизировано время на работающей системе УТАС и на персональном компьютере, к которому был подключен наземный блок приемного устройства. УТАС фиксирует начало и конец выемки по ходу движения струга в одну сторону. Продолжительность работы струга, скорость его движения, количество добытого угля, объем выемки и т.д. Все эти данные важны для точной привязки отдельно взятого отрезка записанного сигнала к местоположению струга, который сгенерировал этот сигнал.

Сигналы от датчика передавались на поверхность на принимающее устройство, где синхронно преобразовывались в цифровую форму с параметрами: динамический диапазон квантования 16 бит, частота дискретизации $f_d=41100 \text{ Hz}$ и записывались на диск персонального компьютера. Программирование алгоритма обработки производилось в среде пакета программ MatLab. В программе оценки нижних и верхних частот осуществляется расчет функции полной фазы низкочастотных и высокочастотных компонент огибающей. В ней задается интервал времени окна анализа 0,1 с, сдвиг окна анализа относительно начала сигнала в секундах. Программа оценки нижних частот отбирает 4 частоты 390, 380, 370 и 400 Гц (фазовые характеристики). По этим характеристикам можно сказать, что на изгибе функции отражается излом характеристики. Сигнал проходя сквозь массив переотражается на неоднородностях вследствие чего изменяются его характеристики.

В программе для расчета спектральной плотности мощности задается время окна просмотра (100 м/сек), интервал движения окна просмотра 20 м/сек, вектор времени, коэффициент верхней частоты спектра $f=F_s/F_e$, где F_s - тактовая частота, F_e - конечная частота спектра, округление значения сдвигового времени, шаг частоты, внутреннее значение цикла и внутреннее время расчета программы, время выполнения цикла. Это оценочная программа спектральной плотности мощности, в которой видно наличие возбуждения акустического колебания, который рассыпается на составляющие части. По этому графику можно определить качественные значения спектральной плотности мощности. С помощью данной программы рассчитывается временная характеристика сигнала.

Обработка информации заключалась во взаимной увязке всех полученных данных с целью получения целостной картины процесса изменения напряженного состояния массива.

На II-ом этапе искусственный акустический сигнал генерировался режущим механизмом струга в процессе выемки угля. II-й этап проводился во вторую рабочую смену.

В соответствии с выводами анализа низкочастотных и высокочастотных сигналов геолокации была осуществлена оценка структуры пласта на исследуемом участке (рис 1в, 1д). Как видно из рисунков 1в и 1д, на основе анализа низкочастотных и высокочастотных компонент огибающей, возможно интерпретировать строение зондируемого массива. Так, на карте видно, что в районе ПК 145 по 165 бортовому штреку в сторону ПК 135 до половины глубины массива есть тектоническое нарушение. Также, в районе ПК164 посреди массива, возможно наличие мелкоамплитудного нарушения, протяженностью до 40 м. Приконтурная зона по 165 бортовому и 167 сборному штрекам сильно трещиноватая. Мощность зоны трещиноватости 10-15 м.

Выводы и направления дальнейших исследований. Основное отличие использования струговых установок от стандартной технологии – высокая скорость проведения горных работ,

что предполагает быстрое обнажение пород значительной площади. Геомеханические процессы, которые при этом развиваются в породном массиве, на сегодняшний день изучены не достаточно. Соответственно отсутствует и база для разработки эффективных средств охраны горных объектов с учетом перемещающегося максимума горного давления впереди движущегося забоя лавы, величина которого зависит от взаимного расположения забоя лавы и камер монтажа-демонтажа, а также от ряда горно-геологических и горнотехнических факторов, среди которых важное место занимают геологические нарушения нетронутой части угольного пласта, особенно дизъюнктивного типа.

Современные методы оперативного прогноза строения углепородного массива не могут гарантировать безопасность ведения работ в такой сложной, динамично изменяющейся ситуации. Кроме того, анализ форм, признаков наличия, закономерностей распространения и характера проявления дизъюнктивов, характерных для шахтных полей Украины, позволил установить, что для полной и правильной идентификации скрытого нарушения необходимо учитывать как прямые, так и косвенные признаки, относящиеся к нему, при этом стоит комбинировать различные подходы идентификации для повышения надежности прогноза.

В этой связи необходим комплексный подход к оперативному прогнозу структуры углепородного массива при внедрении струговой технологии добычи в условиях угольных шахт Украины.

Хотя в конкретных горно-геологических условиях закономерности состояния и свойств породного массива и угольного пласта в районах геологических нарушений проявляются не в одинаковой степени и имеют свои количественные параметры, в целом они могут быть использованы, во-первых, для разработки практических решений при переходе зон влияния нарушений (прогноз, мероприятия) и, во-вторых, для разработки направлений дальнейшего проведения исследований малоамплитудных нарушений.

Список литературы

1. Лукинов В.В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / Лукинов В.В., Пимоненко Л.И. – Киев: Наук. думка, 2008. – 352 с.
1. Брижанев А.М. Влияние трещинной и мелкоамплитудной разрывной тектоники на метановыделение в подземные горные выработки угольных шахт Донбасса / Брижанев А.М., Галазов Р.А., Куц О.А., Кривцов А.А., Шерщук В.В. // Геология и разведка. – 1985. - № 2. – С. 51-55.
1. Кольчик Е.И. Влияние тектонической нарушенности на условия проведения и поддержания пластовых выработок / Кольчик Е.И., Кольчик И.Е., Пилогин В.И. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 184 с.
2. Забигаило В.Е. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / В.Е. Забигаило, В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Н.В. Сахневич – К.: Наукова думка. – 1994.
3. Анциферов А.В. Теорія та практика шахтної сейсмозвідки. – Донецьк: «АЛАН», 2003. – 312 с.
5. Ткачев В.А. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / В.А. Ткачев, А.Ю. Компанейцев // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Часть 1. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла», 2008. – 414 с. (с. 145-151).
6. Рубан А.Д. Контроль строения и состояния горного массива с использованием сейсмического мониторинга при подземной и открытой угледобыче / Рубан А.Д. // Геофизика и современный мир. – М.: МГУ. – 1993. – 363 с.
7. Применение сейсмозвездки при решении проблемы добычи метана угленосных формаций / [Глухов А.А., Анциферов А.В., Анциферов В.А. и др.] // Геофизический журнал. – К., 2010. – Т. 32. – № 5. – С. 117-125.
8. Анциферов А.Ф. Повышение надежности прогноза малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов на основе комплексного использования геолого-геофизической информации / А.Ф. Анциферов // Геология и геохимия полезных ископаемых. – 1998. – № 2. – С. 48-52.
9. Дрибан В.А. Направления исследований влияния малоамплитудной нарушенности на ведение горных работ / В.А. Дрибан, И.А. Южанин, А.О. Севрюков // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.znate.ru/docs/index-236949.html>.
10. Аппаратура передачи сейсмоакустического сигнала АПСС 1. Паспорт. АПСС 1.00.000 ПС. – Донецк: ООО «Научно-производственное предприятие «Интеграл», 2010.
11. Журавлёв В. Н. Свойства стационарности зондирующего угольный пласт виброакустического информационного сигнала / В.Н. Журавлёв, Е.В. Масленников, И.В. Кондратюк // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, НГУ. - 2010. - № 34. - т. 1. – С. 192 – 199.
12. Хаттон Л. Обработка сейсмических данных: теория и практика / Лесли Хаттон, Майкл Уэрдингтон, Джон Мейкин. – Oxford : Blackwell Science. – 1996.
13. Winkler K.W., Xingzhou Liu. Measurements of third-order elastic constants of rocks // J. Acoust. Soc. Amer. 1996. V. 100. P. 1392–1398.
14. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. 343 с.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.

Рукопись подана в редакцию 05.05.2015