

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР**

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Сейсмические исследования в шахтах с использованием РОСА-А новой системы регистрации

Сагайдачная О.М., Дунаева К.А., Кане
ФГУП «СНИИГТИМС», г. Новосибирск

Введение

Оценки
Технологические условия угольных месторождений определяются основными технологическими циклами эксплуатации шахтных полей. Актуальной задачей является решение вопроса о возможности экономично и безопасно по добыче углей, а также повысить безопасность, являющуюся прогнозируемым возможным скрытым нарушением, в том числе и песчаных взрывов, не выявляемых на этапах разработки и проведения подготавливающих работ. Наличие в угольном пласте песка снижает повышенную крепость породы, что приводит к снижению только стабильности и конструктивной устойчивости пласта, но и существенно увеличивает добычу угля с использованием современной техники.

В настоящее время для локализации потенциальных зон с повышенным содержанием метана и оптимизацией изложения подземных газационных залежей рекомендуется проводить опережающие геолого-геофизические исследования угольного пласта (вместоного стола). Оперативный контроль условий залегания угольных пластов дает возможность оптимизировать технологическую отработку участка шахтного поля в зависимости от установленной степени преципируемости и литологического строения.

К числу эффективных геофизических технологий можно отнести метод сейсмических исследований, основанный на изучении скорости строения среды в лавах на проходящих объектах (продольных и поперечных) и каналовых [1, 4, 6].

Сейсмические исследования в угольных шахтах Кузбасса проведены по способу прослушивания в период 2010–2011 гг. (ООО «НПЦ «Восточный», г. Кемерово и ФГУП «СНИИГ-Гео», г. Новокузнецк) с использованием автономных сейсмических станций РСДА-4 [5–7]. В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (законченное №189-7 от 22.12.2009 г.) станция РСДА-4 прошла эксперименту на соответствие исполнения её полых блоков требованиям нормативных документов по безопасности. Оценивая преимущество автономной безбатарейной системы, является отсутствие внешнего кабеля для подачи электричества, проводной связи с управляющей станцией, а также проводое между автономными полыми модулями регистрации сейсмических данных.

Основные технические характеристики автономной станции РОСА-А

Семинарская автономная РОСА-А, разработчики в ФГУП «СНИИТИМС» (патенты: RU 2531087, 2566981, 90223, 10337), обеспечивают проведение наземных и полетных исследований в режиме длительных и программируемых наблюдений [2, 8 - 10]. Основные функциональные блоки станции приведены на структурной схеме (рис. 1).

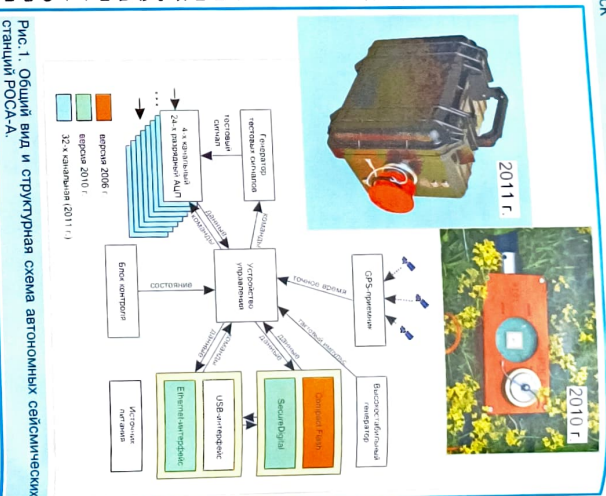


Рис.1. Общий вид и структурная схема автономных сейсмических станций РОСА-А.

Устройство	управления	обеспечивает
настройку всех компонентов модуля, регистрацию сейсмических данных, синхронизацию внутренних часов, обмен информацией с компьютером через внешний порт и мониторинг технического состояния модуля		

При программировании рабочего сенса можно выполнить диагностику технического состояния канала регистратора без использования дополнительных приборов. Перечень команд регулируемых параметров включает: шум; контактные напряжения сигнала регистратора; коэффициент нелинейных искажений; подавление синфазной помехи; коэффициент взаимовлияния; идентичность коэффициентов усиления; сопротивление и импульсная характеристика подложного гефона; правильность записи на ленте; частоту вращения магнитной ленты; наличие и работоспособность датчика скорости вращения магнитной ленты.

Генератор тестовых сигналов регистрируется по строю на дельта-систе ЦАП и обеспечивает уровень нелинейных искажений сигналов меньше 0,0005%. Реализованные параметры выходного сигнала генератора тестовых сигналов позволяют обеспечить автономного метрологического обеспечения.

В качестве энергонадежной памяти используются промышленные flash-карты CompactFlash или SecureDigital емкостью до 32 Гб. В версии 1.2 реализована опция «оторочен» — замена памяти и считывание их отдельно от устройств. Для записи информации на карту используется стандартная файловая система FAT16/32, поддерживаемая практически всеми современными операционными системами.

Для программирования режима записи используется компьютер, например Notebook.

а)

Вентиляционный штрек

Угольный пласт

Конвейерный штрек

Вентиляционный штрек

Угольный пласт

Конвейерный штрек

Вентиляционный штрек

Угольный пласт

Конвейерный штрек

б)

Вентиляционный штрек

2010 г.

Угольный пласт

Конвейерный штрек

пункт возбуждения (ПВ)

пункт приема (ПП)

предполагаемое
положение
песчаного вреза

Вентиляционный штрек

2011 г.

пункт возбуждения (ПВ)

пункт приема (ПП)

М—М' выход песчанника на стену штрека

предполагаемое включение

Вентиляционный штрек

Конвейерный штрек

пункт возбуждения (ПВ)

пункт приема (ПП)

Рис.2. а) Возможные и б) реализованные системы наблюдений на проходящих сейсмических волнах в угольных шахтах.

USB портом и предустановленной операционной системой, поддерживающей файловую систему FAT и накопителя USB Mass Storage. USB-интерфейс регистратора соответствует стандартам: USB 1.1 Full-speed и USB Mass Storage Class Bulk-Only Transport, Revision 1.0. Применение USB-порта позволяет легко организовать управление регистратором с использованием широкого перечня вычислительной техники. При подключении к компьютеру регистратор представляется пользователю как жёсткий диск (аналогично опознаванию USB FlashDrive), доступный для записи и чтения файлов. В корневой директории этого диска посредством стандартных средств (Блокнот, WordPAD) подготовлен файл «config.txt», содержащий информацию о предстоящих сеансах работы. Программное обеспечение регистратора создает на этом диске текстовый файл (report.txt) с информационными сообщениями о техническом состоянии модуля, GPS-сигналах, проведённых сеансах и т.п. Данные сейсмических записей сформированы на диске как бинарные файлы, которые далее можно конвертировать для просмотра и обра-

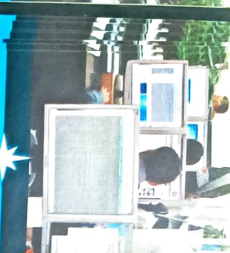
ботки в требуемый формат, например, обменный формат SEG-Y. В состав поставляемого программного обеспечения входит также библиотека функций для хранения и архивации записей.

В версии 2 добавлен интерфейс Ethernet, соответствующий стандартам 10BASE-T/100-BASE-T, обеспечивающий канальную скорость передачи данных до 100 Мб/с.

Функциональные характеристики и технические параметры сейсмических регистраторов POCA A® (см. таблица) соответствуют лучшим зарубежным аналогам: ION (FireFly®), Fairfield (Zland, ZNodal™systems), Refraction Technology, Inc. (Reftek), OYO Geospace Company (GSR™) [11 - 14].

Основным параметром, ограничивающим минимальный уровень регистрируемых сигналов, является величина мгновенного динамического диапазона (мДД) сейсмического канала. Как правило, регистрация данных при условии $\text{мДД} \cdot 120 \text{ дБ}$ обеспечивает достоверное выделение сигнальной составляющей в общем потоке информации и, следовательно, возможность исследования энергетически слабо выраженных отдельных элементов сейсмического поля.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Таблица

Технические характеристики	РОСА-А
количество каналов, аналоговые преобразователи	4 / 32
общий динамический диапазон	более 146 дБ
минимальный динамический диапазон	до 135 дБ
частотный диапазон регистрации	0 – 3200 Гц
подавление синфазной помехи	более 120 дБ
коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%
уровень шума (при заданном усилении), RMS	менее 0,16 мВ (36 дБ)
способ хранения данных	встроенная Flash-память или SD (2x32GB)
способ передачи данных	USB порт, съёмный SD, Ethernet (RJ45 UDP)
рабочий диапазон температур	от -40 до +60°C
время автономной работы, суток	более 10
потребляемая мощность в рабочем режиме (на один канал)	менее 0,5 Вт (4 канала) – менее 180 мВт (32 канала)
исполнение	IP67, допускаемо погружение в воду

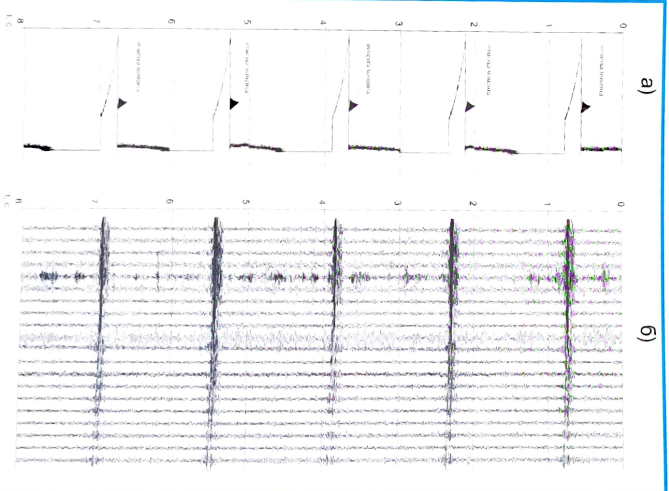


Рис.3: а) Фрагмент записи «отметчика», б) сформированная сейсмограмма, соответствующая записи пяти регистраторов

Полученное значение 140 дБ на периоде квантования 1 мс (30 дБ (1 мс), 110 дБ ($0,25 \text{ мс}$), 125 дБ ($0,1 \text{ мс}$)). Масштабный шум является равномерным и малоинтенсивным на частотах до 1 кГц .

Важнейшим условием использования в шахтах систем регистрации сейсмических данных с автономными станциями РОСА-А является обеспечение высокоточной синхронизации времени при отсутствии сигнала спутников. При отсутствии устойчивого приема спутниковых сигналов GPS прецизионный термостабилизированный генератор позволяет длительное время работать в автономном режиме с погрешностью менее $\pm 1 \text{ мс/сутки}$.

Методика полевых сейсмических работ в шахтах

Полвека методика сейсмических исследований в шахтах включала систему многоканальных перекрытий на проходящих объемах (продольных и поперечных) волнах, которая определялась технологическими схемами эксплуатации угольных месторождений, в том числе размера выемочного столба и размерами искомого нарушения. При выборе параметров системы наблюдения принципиально важно обеспечить максимально равномерное просвечивание изучаемого объема. Возможные реализации систем многоканальных перекрытий на проходящих волнах показаны на рис. 2а.

Общая схема полевых сейсмических работ в шахтах с автономными станциями РОСА-А следующая: перед началом работы станции на дневной поверхности согласуются по мировому времени через спутниковые сигналы по GPS-принципам. Далее для проведения сейсмических измерений станции устанавливаются в шахте.

Например, на исследуемом в 2010 г. участке размером $340 \times 250 \text{ м}^2$ (рис. 2б) пункты приема (ПП) сейсмических колебаний разместились с шагом 10 м по борту канейерного штрека. Сейскомпаниями помещались в горизонтально пробуренные в угольном пласте шпур глубиной около $0,1 \text{ м}$. Пункты возбуждения (ПВ) упругих колебаний размещались с шагом 10 м на борту вентиляционного штрека и стене дежонской камеры. На каждом ПВ выполнялось по 6–8 ударов кувалдой (10 кДж) по метаталоческому штырю, расположенному в горизонтальном шпуре глубиной $\sim 1,0 \text{ м}$. Продолжительность рабочего сеанса записи составляла около часа, в течение которого обрабатывалось несколько ПВ.

Для обеспечения привязки сейсмических данных к мировому времени используется канал автономного регистратора РОСА-А с подключенным сейсмическим датчиком, расположенным в непосредственной близости от источника возбуждения. При работе в шахтах использовался пьезодатчик, закрепленный непосредственно на кувалде и подключенный к формирователю импульсов. В качестве последнего использовался одновибратор на КМОП таймере 555, формирующий нормированный по длительности (менее $0,2 \text{ с}$) импульс с крутыми фронтами. Высокая идентичность импульсов позволяет выполнить при обработке достоверную идентификацию и временную привязку зарегистрированных

отметок момента возникновения (рис. 3).

Динамический диапазон динамического канала станции РЗ-100 и прецизионная система привязки позволили получить качественный материал на частоте дискретизации 0,5 мс (рис. 4).

Особенности сейсмического волнового поля

Наблюдаемые сейсмические колебания характеризуются широким частотным диапазоном от 20 Гц до 200 Гц (и более). На всех полученных сейсмограммах выделяются (рис. 5) три группы волн: продольные волны $P_{ув}$, распространяющиеся по вмещающим угольный пласт породам (в кровле или подошве угольного пласта); поперечные волны $S_{ув}$, распространяющиеся по вмещающим угольный пласт породам (в кровле или подошве угольного пласта); каналовые волны S^y , распространяющиеся по угольному пласту (волноводу).

В первых вступлениях регистрируются преломленные волны $P_{ув}$, распространяющиеся по высокоскоростным углеводородным породам (песчаникам). При возбуждении колебаний в угольном пласте одновременно формируются две преломленные волны. Одна из них распространяется в породах кровли угольного пласта, другая – в породах его почвы. Следовательно, в первых вступлениях может регистрироваться либо волна, распространяющаяся по породам кровли угольного пласта, либо по породам почвы. Волновой пакет поперечных преломленных волн $S_{ув}$ также состоит из совокупности волн, распространяющихся в породах кровли и

почвы пласта (рис. 5).

Угольный пласт характеризуется относительно углеводородных пород более низкими значениями (примерно в 1,4 раза) скоростей сейсмических волн и рассматривается как волновод. При распространении сейсмических волн по волноводу формируется интерференционный протяженный цуг колебаний длительностью около 25 - 40 мс, состоящий из ряда волн. Зарегистрированная волна S^y отличается повышенной средней частотой (120 - 170 Гц), не имеет четких первых вступлений и быстро меняет полярность по фронту распространения (рис. 5). Годограф волны S^y может быть построен только в виде огибающей максимальной амплитуды цуга. Волна S^y отличается повы-

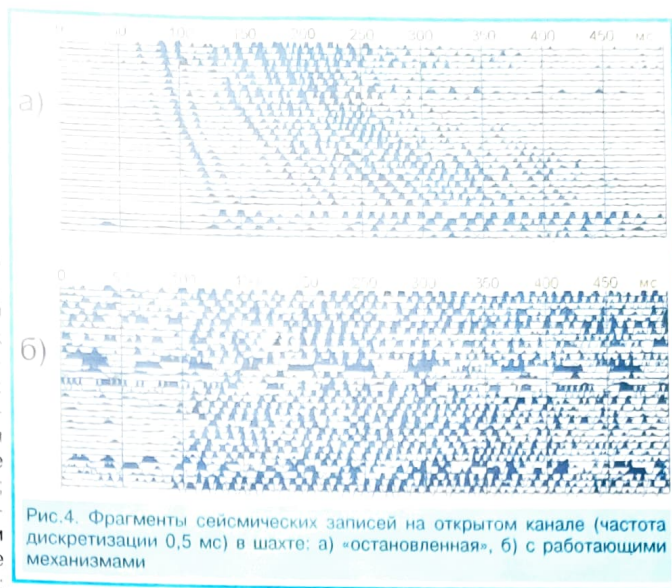


Рис.4. Фрагменты сейсмических записей на открытом канале (частота дискретизации 0,5 мс) в шахте: а) «остановленная», б) с работающими механизмами

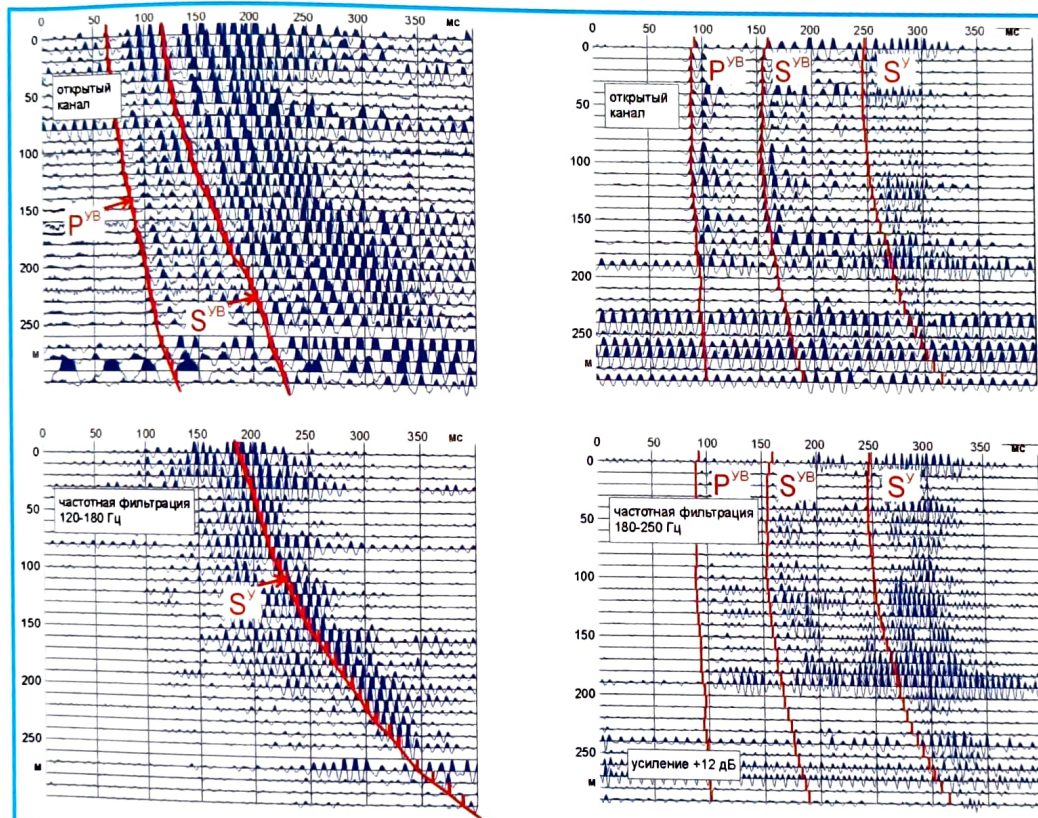


Рис.5. Типичные сейсмограммы ОТВ на открытом канале и после частотной полосовой фильтрации

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

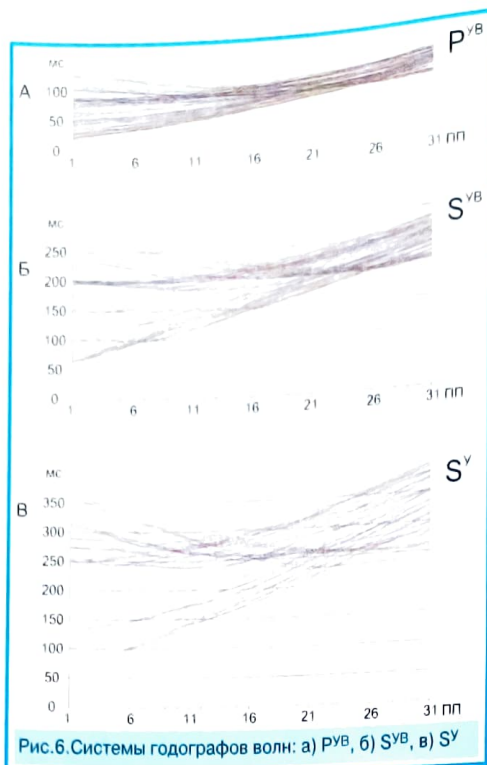


Рис.6. Системы годографов волн: а) P^{VB} , б) S^{VB} , в) S^V

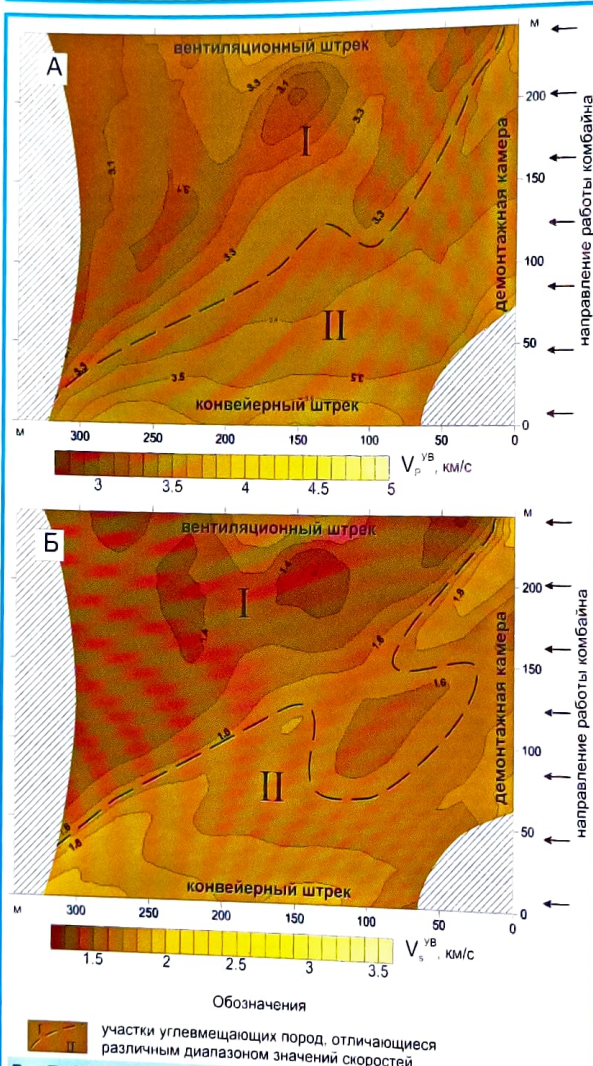


Рис.7. Сейсмотомографические разрезы (интерполяционный вариант) для углевмещающих пород: а) по скоростям объемных продольных волн $V_{P^{VB}}$; б) по скоростям объемных поперечных волн $V_{S^{VB}}$

шенной средней частоты регистрации в сравнении с частотой регистрации волн P^{VB} и S^{VB} . Значения скорости распространения волны S^V ниже значений скорости распространения объемных поперечных волн в угольном пласте. В совокупности эти свойства волны S^V позволяют интерпретировать ее как каналовую волну волноводного типа, а определяемую по её годографам значение скорости рассматривать, как групповую скорость [1].

Методика и результаты обработки волнового поля

Методика обработки сейсмического поля проходящих волн основывается на способе лучевой томографии с использованием программы «Migratom» и включает этап прослеживания осей синфазности однотипных волн. Пикировка осей синфазности выделенных однотипных сейсмических волн выполняется с использованием программы «Seisviewer» (разработка ФГУП «СНИИГ-ГИМС»). Построенные системы годографов $t_{P^{VB}}$, $t_{S^{VB}}$ и t_{S^V} прослеженных однотипных волн P^{VB} , S^{VB} , S^V (рис. 6) служат базой для двухмерного изображения поля скоростей сейсмических волн.

Сейсмотомографическая обработка на проходящих объемных и каналовых волнах послужила основой детального восстановления особенностей строения угольного пласта и углевмещающих пород по скоростям $V_{P^{VB}}$, $V_{S^{VB}}$ и V_{S^V} (рис. 7, 8). В поле скоростей $V_{P^{VB}}$ выделены два участка: I участок характеризуется пониженными значениями скоростей ($V_{P^{VB}} = 3,1 \div 3,35$ км/с), II участок характеризуется повышенными значениями скоростей ($V_{P^{VB}} = 3,35 \div 3,6$ км/с). В поле скоростей $V_{S^{VB}}$ также выделяются два участка: I участок характеризуется пониженными значениями скоростей ($V_{S^{VB}} = 1,4 \div 1,65$ км/с), II участок характеризуется повышенными значениями скоростей ($V_{S^{VB}} = 1,65 \div 1,9$ км/с). Различия в значениях скоростей $V_{P^{VB}}$ и $V_{S^{VB}}$ на участках I и II могут быть обусловлены изменением литологического состава углевмещающих пород. Повышенные значения скоростей $V_{P^{VB}}$, $V_{S^{VB}}$ для участка II указывают на увеличение песчаности (плотности) углевмещающих пород на этом участке. Сейсмотомографический разрез по отношению скоростей $V_{S^{VB}}/V_{P^{VB}}$ также подтверждает разделение углевмещающих пород на два участка. Их разграничительная линия фиксируется контрастной полосой повышенных значений параметра $V_{S^{VB}}/V_{P^{VB}}$ ($0,50 - 0,54$). Эта полоса может соответствовать дизъюнктивной дислокации типа сдвига или малоамплитудного сброса, либо некоторой локальной зоне напряженного состояния среды (предразломное состояние).

На сейсмотомографическом разрезе по скоростям V_{S^V} значения последних находятся в диапазоне $1,1 - 1,3$ км/с и могут быть соотнесены со значениями групповой скорости каналовых волн, распространяющихся по угольному пласту (рис. 8). В поле значений скоростей V_{S^V} уверенно выделяется высокоскоростной ($V_{S^V} \geq 1,25$ км/с) участок, который может рассматриваться как прогнозный песчаный врез. Важно отметить, что по результатам обработки максимальной

внедрение песчаного вреза в угольный пласт не превышает 50 м от конвейсного штрека.

Выводы

Таким образом, данные работы показали, что бескабельная сейсмическая система с использованием автономных станций РОСА-А позволяет провести детальные инженерно-геофизические исследования в шахтах с минимизацией рисков по охране труда и может быть применена для мониторинга подземных и наземно-подземных объектов (сооружений) в условиях неустойчивого приема спутниковых сигналов.

Сейсмические работы, проведенные в шахте по способу просвечивания на проходящих объемных (продольных и поперечных) и каналовых волнах, позволили восстановить особенности скоростного строения угольного пласта и углевмещающих пород и выполнить количественную оценку их физико-механических свойств. Последующая разработка угольного пласта подтвердила результаты сейсмического прогноза по структуре песчаного массива.

Следует особо отметить необходимость обоснованного выбора параметров системы наблюдения, принимая во внимание, что при использовании способа просвечивания на проходящих волнах наиболее достоверные сведения об объекте могут быть получены при освещении объекта по его периметру и высоким отношении полезного сигнала к уровню помех.

Предлагаемый способ может способствовать улучшению технологии отработки угольных пластов, повысить безопасность угледобычи за счет опережающего прогноза механически ослабленных зон и зон повышенного метановыделения.

Публикации

1. Азаров Н.Я., Яковлев Д.В. Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. – М.: Недра, 1988 - 199 с.
2. Вершинин А.В., Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н. Автономная система сбора сейсмических данных. // Патент №103937 (RU), опубликовано: 27.04.2011, Бюл. №12
3. Канарейкин Б.А., Сагайдачная О.М., Курбатский В.Н., Дунаева К.А. [2004]. Технология сейсмотомаграфических исследований грунтов в около-тоннельном пространстве. // Приборы и системы разведочной геофизики, №2.
4. Левшин А.Л. [1973]. Поверхностные и каналовые сейсмические волны. // М.: Наука.
5. Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. [2008]. Бескабельная система регистрации РОСА-А – техническая основа активного и пассивного сейсмического мониторинга // 5-я международная выставка «НЕДРА-2008», тезисы научно-технической конференции «Технико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ. Проблемы и перспективы», М.: Официальный каталог ВВЦ.
6. Сагайдачная О.М., Дунаева К.А., Сальников А.С., Потапов П.В., Гриценко С.А. [2008]. Сейсмические работы по просвечиванию угольных пластов с использованием автономных станций РОСА-А // Приборы и системы разведочной геофизики, №4.
7. Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Вершинин

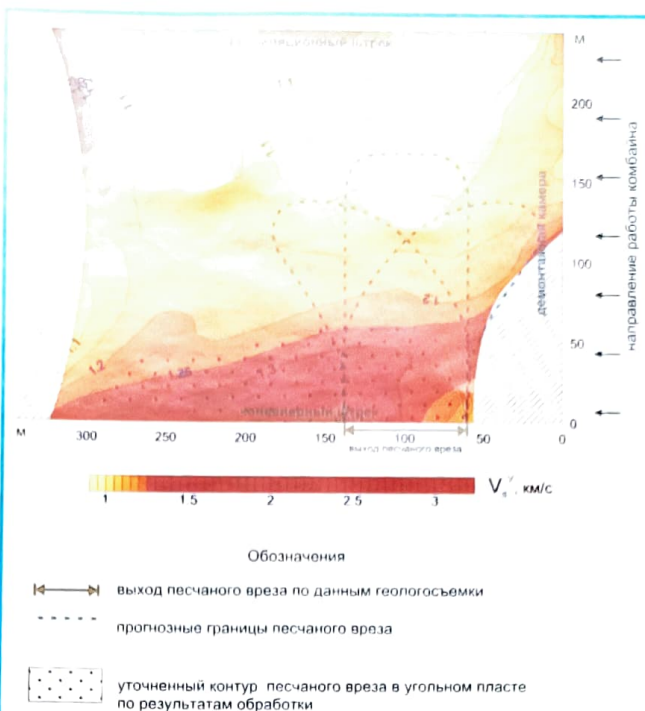


Рис.8.8. Сейсмотомаграфический разрез (интерполяционный вариант) по скоростям каналовых волн V_s , распространяющихся по угольному пласту

- А.В., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. [2010]. Базовые характеристики сейсмического канала для регистрации слабых сигналов (на примере автономной станции РОСА-А). // Приборы и системы разведочной геофизики, №3.
8. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Автономный регистратор сейсмических сигналов. // Патент №2331087 (RU), опубликовано: 10.08.2008 Бюл. №22.
9. Шмыков А.Н., Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С. Автономный регистратор сейсмических сигналов и устройство автоматической настройки и коррекции тактовой частоты автономного регистратора сейсмических сигналов. // Патент №2366981 (RU), опубликовано: 10.09.2009, Бюл. №25.
10. Шмыков А.Н., Вершинин А.В., Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С. Устройство автономной регистрации сейсмических сигналов // Патент №90223 (RU), опубликовано: 27.12.2009, Бюл. №36.
11. Sagaidachnaya O.M., Sagaidachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N., Shegolkov A.V. [2007]. A Distributed Data Recording System as a Basis for Modern Seismic Research Technologies // 69th EAGE Conference & Exhibition, London, Abstracts P187
12. Sagaidachnaya O.M., Salnikov A.S., Vershnin A.V., Sagaidachny A.V., Shmykov A.N. [2010]. Seismic Channel Basic Characteristics for Weak Signal Registration by Point Group of Geophones // 72th EAGE Conference & Exhibition, Barcelona, Abstracts P292.
13. Sagaidachnaya O.M., Dunaeva K.A., Kanareikin B.A., Salnikov A.S., Shmykov A.N. [2011]. Seismic Studying Method by Transmitted Wave Technique in Coal Mines // 73th EAGE Conference & Exhibition, Vienna, Austria, Abstracts P182.
14. Heath B. [2010]. Weighing the role of cableless and cable-based systems in the future of land seismic acquisition // FIRST BREAK - An EAGE Publication, June 2010, v 28.

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР