

Сейсмические работы по просвечиванию угольных пластов с использованием автономных станций РОСА-А

Сагайдачная О.М., Дунаева К.А., Сальников А.С., ФГУП «СНИИГГМС», г.Новосибирск; Потапов П.В., Гриценко С.А., ОАО НЦ «ВостНИИ», г. Кемерово.

Введение

Проведение в шахтах специальных сейсмических исследований выемочных столбов (угольных лав) обусловлено необходимостью прослеживания угольного пласта, определения его мощности, выявления зон геологических нарушений и, особенно зон повышенной трещиноватости. Актуальность этой задачи определяется тем, что добывающее предприятие (шахта) несёт значительные издержки, если такого рода нарушения обнаруживаются «внезапно» в процессе выемки угля. Более того, вскрытие части таких нарушений без специальных мероприятий может привести к катастрофическому выбросу

газа (метана) и человеческим жертвам.

Автономная сейсмическая станция РОСА-А, разработанная в ФГУП «СНИИГГМС» [1 - 4], по своим техническим и функциональным характеристикам (рис. 1) позволяет провести сейсмические измерения в выемочных блоках угольных пластов (лавах) в рабочей полосе частот до 500 Гц. Отсутствие проводов между элементами сети регистрации с автономными станциями, в том числе между пунктом возбуждения и пунктами наблюдения, является важным аргументом с позиции обеспечения электробезопасности сейсмических работ в шахте. Бескабельная сейсмическая аппаратура по исполнению её блоков соответствует основным требованиям взрывобезопасности по уровню взрывозащиты - РО (особовзрывобезопасный) и по виду взрывозащиты - Ia (искробезопасная электрическая цепь).

Важнейшим условием использования бескабельной системы сбора и регистрации сейсмических данных с автономными регистраторами РОСА-А в шахтах является обеспечение высокоточной синхронизации времени в условиях отсутствия спутниковых сигналов от GPS-приёмника.

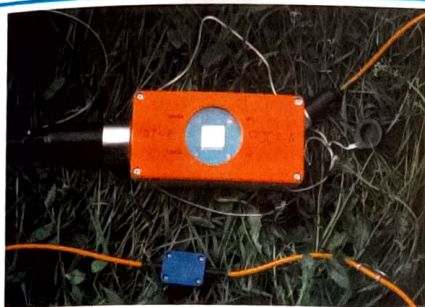
Принципы построения автономной бескабельной сейсмической станции

Современный уровень микроэлектроники практически снимает ограничения на автономность устройства регистрации данных, связанные с их большими объёмами. В настоящее время, используя твердотельную flash-память промышленного производства, объемом от 2 до 16 Гбайт, можно обеспечить режим непрерывной регистрации сейсмических данных свыше десяти суток. Такая система записи сейсмических данных позволяет полностью (или частично) отказаться от регламентированного по времени режима работы с искусственными источниками возбуждения различного типа (взрывными, импульсными и вибрационными). Автоматическая временная привязка сейсмических записей при регистрации позволяет исключить радиоканал для синхронизации и телеметрическую систему управления, сбора и передачи данных значительных объёмов.

Систему автоматической временной привязки сейсмических наблюдений к мировому времени (UTC) можно построить посредством использования высокоточного генератора и (или) GPS-приёмников. Каждое из этих решений при определённых условиях правомерно и достаточно эффективно. Спутниковые GPS-приёмники, временная синхронизация которых удовлетворяет достаточно высоким требованиям, относительно недороги и легко встраиваются в полевые модули. Однако использование сигналов GPS-приёмников для точной временной синхронизации, удовлетворяющей требованиям сейсмических работ, возможно при условии устойчивого приёма минимум трёх спутников.

Высокоточные термостатированные генераторы, относительная погрешность частоты которых составляет не более $\pm 10^{-8}$, позволяют при отсутствии устойчивого приёма спутниковых сигналов GPS длительное время работать в автономном режиме с сохранением временной син-

а)



б)

Параметры	Автономный полевой модуль РОСА-А
количество каналов регистрации	4
аналого-цифровой преобразователь	24 bit
интервал дискретизации, мс	0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0
регистрируемые частоты	0-3200 Гц
мгновенный динамический диапазон	135 дБ (16 мс) 130 дБ (4 мс) 125 дБ (1 мс)
коэффициент усиления, дБ	0, 6, 12, 18, 24, 30, 36
коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%
взаимные влияния между каналами	менее минус 110 дБ
потребляемая мощность в рабочем режиме	менее 1,7 Вт на регистратор
способ питания, аккумулятор	на модуль
габариты регистратора	245x105x70 мм
масса регистратора	1,6 кг
диапазон рабочих температур	от минус 40°С до плюс 60°С
погрешность синхронизации GPS, мкс	<0,1
нестабильность частоты опорного генератора	<10 ⁻⁸
время автономной работы, суток	не менее 10

Рис. 1. Автономный регистратор РОСА-А: а) общий вид; б) основные технические характеристики.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЕЙ

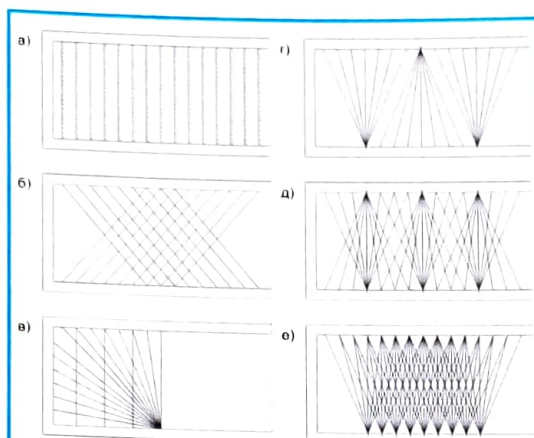


Рис. 2. Системы сейсмических наблюдений в шахтах по методике проходящих волн: а) непродольное сейсмическое профилирование; б) система «сеточного» профилирования; в) система «веерного» просвечивания в сочетании с непродольным сейсмическим профилированием; г) «веерное» просвечивание без перекрытия; д) «веерное» просвечивание с частичным перекрытием; е – «веерное» просвечивание с полным перекрытием.

хронизации заданной точности. С позиции энергопотребления использование GPS-приемника, у которого потребляемая мощность в режиме записи составляет менее 0,1 Вт против 1 Вт для внутреннего генератора, более предпочтительно. Но соединение этих элементов в одном устройстве обеспечивает автономную бескабельную систему регистрации сейсмических данных по эффективности, не уступающую телеметрическим системам.

Система синхронизации времени, реализованная в автономных регистраторах РОСА-А, построена в соответствии с данной схемой и включает в себя следующие элементы:

- основной канал временной синхронизации с использованием сигнала спутникового GPS-приёмника (временная погрешность менее 1 мкс);
- дополнительный канал временной синхронизации, построенный на прецизионном тактовом генераторе (10 МГц), относительная нестабильность частоты которого составляет менее 10^{-6} , обеспечивающий временную синхронизацию без спутникового сигнала (погрешность временной привязки от 0,1 мс до 1 мс в сутки в зависимости от градиента температуры на период выполнения измерений);
- программную систему автоподстройки с формированием внутренней опорной частоты 16 кГц по сигналам GPS-приёмника, которая минимизирует ошибки при активизации генератора и обеспечивает контроль синхронизации в целом.

Методика сейсмических измерений в шахтах

Общая схема сейсмических работ в шахтах с использованием автономных станций РОСА-А следующая: перед началом работы автономные станции РОСА-А на дневной поверхности согласуются по мировому времени через спутниковые сигналы по GPS-приёмникам. Далее для проведения сейсмических измерений станции для регистрации данных устанавливаются в вентиляционном штреке. Возбуждение упругих колебаний (сейсмического сигнала) производится из конвейерно-

го штрека. Регистрация отметки начала сигнала выполняется с помощью одной станции РОСА-А, на которой в данном случае достаточно задействовать один канал. Перемещение пунктов возбуждения (ПВ) и пунктов приёма (ПП) проходит по заранее согласованному расписанию соответственно полевой методике по просвечиванию угольных пластов. Используется система многократных перекрытий, возможные варианты которых представлены на рис. 2.

Как правило, сейсмодатчики устанавливаются в середине пласта по его мощности и возбуждение сейсмических колебаний проводится также в середине пласта. Важным преимуществом такой схемы работ с автономными регистраторами является отсутствие проводных линий между ПВ и сейсмостанцией на ПП. Прокладка такой линии связи затруднена, во-первых, из-за удаленности пунктов возбуждения и приёма, поскольку они, как правило, находятся в параллельных штреках. Во-вторых, работоспособность кабельной линии может быть нарушена из-за специфики работ в шахте при движущихся механизмах (конвейер и другие).

Результаты экспериментальных работ в шахтах

Сейсмические работы с автономными станциями РОСА-А были выполнены специалистами ОАО НЦ ВостНИИ (г. Кемерово) в зимний период 2008 г. Исследования проведены в выемочных столбах шахт Кузбасса («Владимирская», «7 Ноября»). Сейсмические работы были проведены с тремя 4-х канальными регистраторами РОСА-А, из которых один записывал отметку момента возбуждения сейсмических колебаний в одном штреке, два других регистратора осуществляли запись сейсмических данных в другом штреке в автономном режиме. Расстояние между сейсмодатчиками менялось от 2,5 до 15 м в зависимости от поставленной задачи, решаемой в данном экспериментальном наблюдении. Расстояние от сейсмодатчика до пункта возбуждения сейсмических волн менялось от 100 до 500 м (рис. 3).

В результате проведённых сейсмических работ было показано, что технические характеристики станции РОСА-А позволяют получать уверенный сейсмический сигнал при съёмке в выемочных блоках угольных пластов размерами 300 м x 2000 м. Динамический диапазон регистрации в рабочей полосе частот (до 500 Гц) был достаточен для выполнения детальных сейсмических исследований в шахтах. При этом отметим, что при опреде-

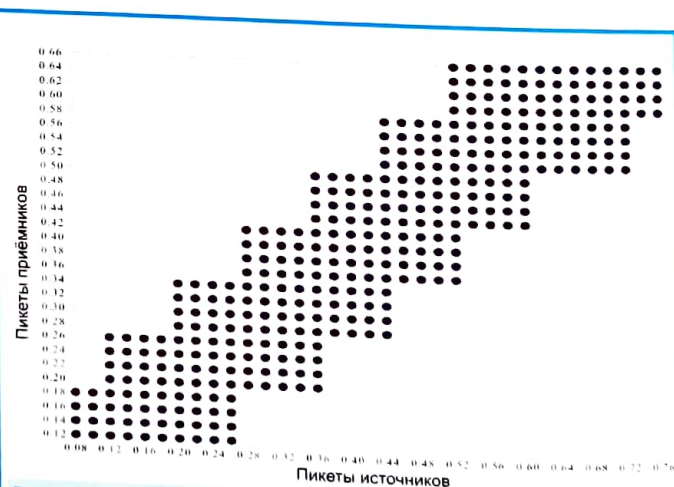


Рис. 3. Схема наблюдений с автономными регистраторами РОСА-А.

ленных условиях наблюдался повышенный уровень микросейсм, обусловленный работающими шахтными механизмами на других горизонтах.

Объём накопителя регистратора РОСА-А по времени соответствует двум полным рабочим сменам. Погрешность временной привязки при отсутствии сигнала от спутникового GPS-приёмника составляла всего несколько единиц микросекунд при 8-часовой работе, такая точность временной привязки достаточна для получения качественных сейсмических данных. На рисунке 4 приведены первичные записи при горизонтальной ориентации сейсмодатчиков (х-компонента) в угольном слое, сейсмограмма общей точки взрыва (ОТВ), коррелограмма сейсмозаписи ОТВ и средней трассы ОТВ.

Полученные сейсмические материалы были использованы для более глубокой динамической и томографической обработки. Рассчитывались энергетические и спектральные характеристики наблюдаемого волнового поля (рис. 5).

В результате анализа изменения динамических и кинематических характеристик сейсмических волн, проходящих через угольный пласт, были прослежены в выемочных столбах участки с тектоническими нарушениями, что в дальнейшем позволяет принять оптимальные технологические решения по добыче угля.

Выводы

Автономная сейсмическая станция РОСА-А позволяет выполнять специальные сейсмические исследования в условиях отсутствия устойчивого приёма спутниковых сигналов, следовательно, может быть успешно применена для решения широкого круга задач шахтной геофизики, а также для инженерно-геологических изысканий и сейсмического мониторинга крупных техногенных подземных и наземно-подземных сооружений.

Технология работы с бескабельной системой на основе автономных регистраторов

РОСА-А является гибкой, может включать сверхбольшое количество пунктов приёма, распределённых с переменной плотностью по площади исследования, обеспечивая достоверную регистрацию информации по свободному расписанию с различными источниками возбуждения упругих колебаний (взрывными, невзрывными импульсными и вибрационными). При использовании бескабельной системы с автономной регистрацией повышается надёжность полевой системы, поскольку сбой в одном элементе локализуется только в одной точке.

Бескабельные системы позволяют проводить сейсмические работы с минимизацией рисков по охране труда и экологической защите окружающей среды.

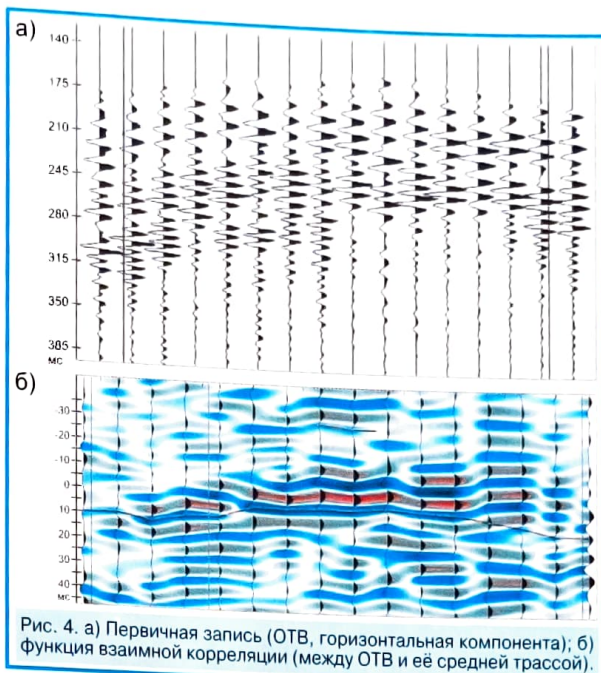


Рис. 4. а) Первичная запись (ОТВ, горизонтальная компонента); б) функция взаимной корреляции (между ОТВ и её средней трассой).

Публикации

1. 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.
2. О.М. Сагайдачная, А.С. Сальников, А.В. Сагайдачный, А.Н. Шмыков, К.А. Дунаева. [2007] Сейсмические системы сбора (телеметрические и бескабельные) на основе регистраторов семейства РОСА. // Международная конференция геофизиков и геологов, г. Тюмень, Россия, 4-7 декабря 2007 г.
3. О.М. Сагайдачная, А.В. Сагайдачный, А.С. Сальников, А.Н. Шмыков. [2007] Распределенные системы сбора сейсмических данных на основе высокоточного канала регистрации РОСА. // Приборы и системы разведочной геофизики, №3.
4. 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», 1-4 апреля 2008 г., Москва, ВВЦ. Официальный каталог.

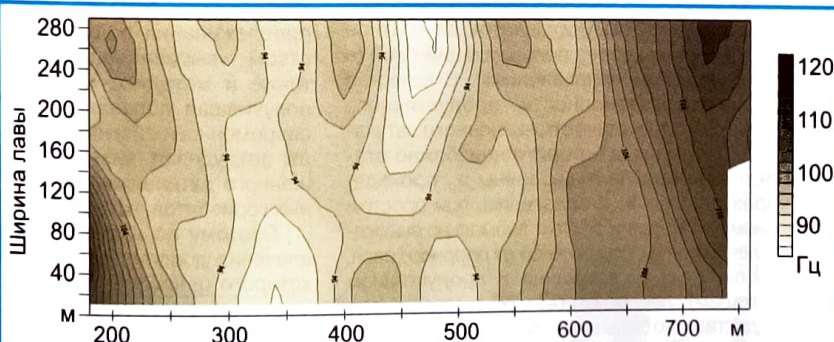


Рис. 5. Томографическое представление преобладающей частоты горизонтальной компоненты сейсмического волнового поля.