

Автономные многоканальные сейсмические станции семейства РОСА®

Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Шмыков А.Н., СНИИГГиМС, г. Новосибирск

Введение

Автономный сейсмический регистратор РОСА-А (ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск) разработан в 2005-2006 гг. на основе прецизионного цифрового канала РОСА® [7]. По техническим характеристикам автономная 4-х канальная сейсмическая станция РОСА-А v.1 (2006 г.) была сопоставима с лучшими аналогами того времени, к которым относились зарубежные модели Reftek (Refraction Technology, Inc., США) [5]. Бескабельная сейсмическая система, созданная на базе автономных регистраторов РОСА-А, позволяла сформировать пространственно распределённую систему наблюдений из множества пунктов приёма, распределённых с переменной плотностью по площади исследования. При этом исключалась неработоспособность сети из-за неисправности одного элемента (регистратора). Реализованная высокоточная система синхронизации обеспечивала длительные сейсмические измерения, в том числе в условиях неустойчивого приёма спутниковых сигналов или их отсутствия. Технология работы с бескабельной системой сбора данных включала регистрацию сейсмической информации по программируемому расписанию телеметрического (радиотелеметрического) канала. По техническим параметрам и функциональным характеристикам, созданная автономная станция РОСА-А соответствовала требованиям, предъявляемым к аппаратуре, предназначенной для проведения глубинных сейсмических исследований методом ГСЗ с источниками возбуждения упругих колебаний различного типа (взрывными, импульсными и вибрационными).

Экспериментальная версия бескабельной сейсмической системы РОСА-А, состоящей из 25 регистраторов (100 каналов), была подготовлена к началу летнего полевого сезона 2006 г.

В данной комплектации система РОСА-А была апробирована при выполнении сейсмических работ методом ГСЗ на опорном геофизическом профиле 2-ДВ [4]. В условиях высоких широт Чукотского АО автономные регистраторы показали хорошую надёжность и стабильность работы при повышенном фоне статического электричества. В последующем и до настоящего времени (2012 г.) сейсмические работы методом ГСЗ были продолжены с использованием серии из 200÷220 автономных регистраторов РОСА-А v.1 (рис. 1). Глубинные сейсмические исследования были выполнены совместно с ГФ СО РАН на опорных геолого-геофизических профилях 2-ДВ, 2-ДВ-А (Магаданская обл., Чукотский АО) и 3-ДВ (Амурская обл., Республика Саха - Якутия) с использованием взрывов в естественных водоёмах и центробежных вибраторов ЦВП-40 (г. Новосибирск). Опыт производственного применения автономных регистраторов РОСА-А для глубинных исследований методом ГСЗ в наземном варианте и по технологии «суша - море» показал экономическую эффективность бескабельной системы РОСА-А [8]. На удалениях до 300 км от источника были зарегистрированы

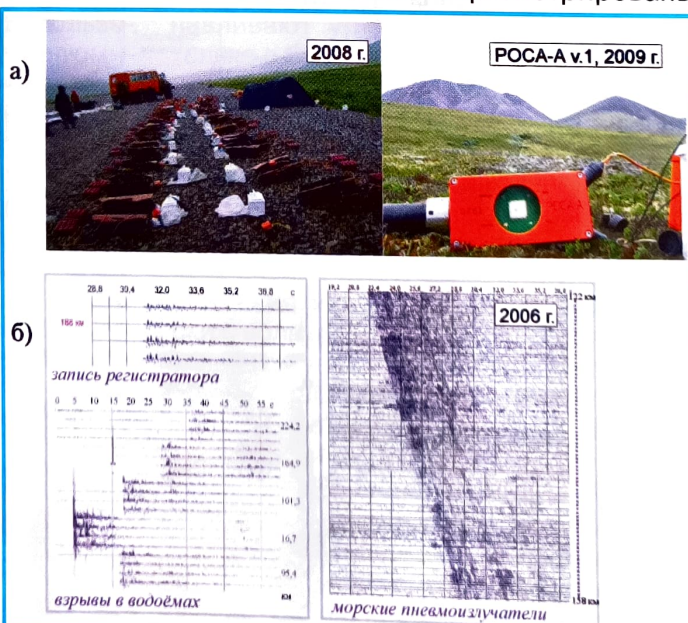


Рис.1. а) Общий вид автономных 4-х канальных сейсмических регистраторов РОСА-А v.1; б) фрагменты сейсмических записей на открытом канале РОСА-А (опорный геолого-геофизический профиль 2-ДВ, Магаданская обл., 2006 г.).

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ
ЗАЧЕМ НЕФТЯНИКАМ ГЕОФИЗИКА

целевые сейсмические волны с высоким отношением сигнал/помеха при взрывном и невзрывном (импульсном и вибрационном) способах возбуждения упругих колебаний.

Данные работы практически подтвердили, что система синхронизации времени, реализованная в автономных регистраторах РОСА-А (рис. 2), позволяет выполнять исследования в условиях неустойчивого приёма спутниковых сигналов или их отсутствия и может быть применена в шахтной геофизике и на горнодобывающих предприятиях при мониторинге подземных и наземно-подземных сооружений [6, 10, 11].

Сейсмоакустические исследования на ряде шахт Кузбасского угольного

бассейна были проведены в период 2010 - 2011 г. с использованием автономных станций РОСА-А (v.1, v.2 (разработка 2010 г.)) по технологии просвечивания угольных пластов [9]. Сейсмические работы выполнены совместно с ООО «НТЦ Восточный» (г. Кемерово) и ООО «Георесурс» (г. Кемерово) в Ленинском и Беловском угленосных районах Кузбасса. Изучались достаточно мощные угольные пласты марок Д и Г (Полысаевский II и Байкаимский), расположенные на глубинах 250 – 390 м. Сейсмотомографическая обработка волнового поля на проходящих объёмных и каналов волнах позволила выявить и проинтерпретировать особенности геологического строения угольного пласта,

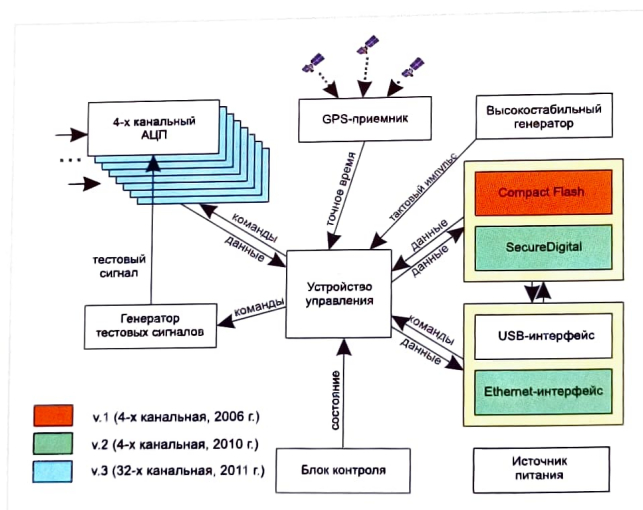
а)



РОСА-АН v.3, 2011 г.



б)



в)

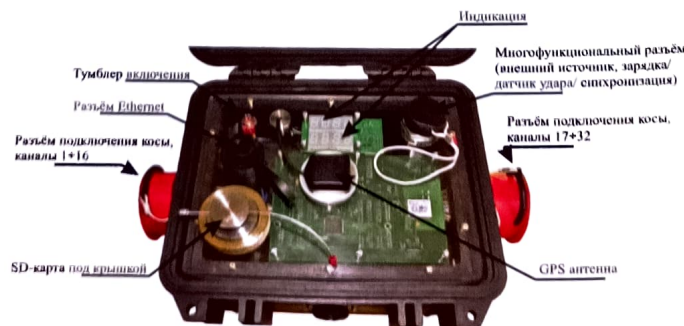


Рис.2. а) Общий вид автономных сейсмических регистраторов РОСА-А v.2 (4-х канальный, 2010 г.) и РОСА-АН v.3 (32-х канальный, 2011 г.); б) структурная схема автономных регистраторов; в) вид внутри регистратора РОСА-АН v.3.

включая оценку прогноза выделения разрывов угольного пласта в пределах лавы. Практически было показано, что предлагаемый способ оптимизирует процесс отработки угольных пластов за счет опережающего прогноза местоположения песчаных врезов, механически ослабленных участков и зон повышенного метановыделения [12]. Результаты проведённых исследований были подтверждены последующими горнопроходческими работами.

Выполненные работы в угольных шахтах Кузбасского бассейна показали перспективность использования автономной сейсмической станции РОСА-А в подземных выработках с минимизацией рисков по охране труда. Однако, при проведении данных сейсмических работ проявились определенные недостатки автономных 4-х канальных модулей регистрации РОСА-А. Анализ выявленных плюсов и минусов и соответствующие выводы и технические решения, реализованные в многоканальной автономной станции РОСА-АН (v.3, разработка 2011 г.), рассматриваются в настоящей статье.

Технология шахтных сейсмических работ с автономными станциями

Сейсморегистрирующая аппаратура должна надёжно функционировать в угольных шахтах при постоянно высокой влажности и повышенном уровне угольной пыли и грязи. Особые требования предъявляются к аппаратуре с позиции обеспечения электробезопасности сейсмических работ в шахте. Существуют ограничения на использование материалов, в частности, алюминия и его сплавов.

Бескабельная сейсмическая станция РОСА-А по исполнению её блоков соответствует основным требованиям взрывобезопасности по уровню взрывозащиты РО (особовзрывобезопасный) и виду взрывозащиты Ia (искробезопасная электрическая цепь). Станция РОСА-А прошла экспертизу на соответствие требованиям нормативных документов по безопасности во исполнение Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (заключение №189-7 от 22.12.2009). Очевидным преимуществом бескабельной системы регистрации сейсмических данных является отсутствие внешнего кабеля для подачи электропитания, проводной связи с управляющей станцией, а также проводов между автономными полевыми модулями регистрации сейсмиче-

ских данных.

Система синхронизации времени, реализованная в станции РОСА-А, включает GPS-приёмник, прецизионный тактовый генератор и систему автоподстройки. Использование GPS-приёмников позволяет получить точность синхронизации не хуже ± 1 мкс. При отсутствии спутниковых сигналов термостатированный генератор обеспечивает работу в автономном режиме с погрешностью менее ± 1 мс/сутки. Эти два способа гарантируют достоверную временную синхронизацию модулей регистрации между собой.

В качестве энергонезависимой памяти используются промышленные flash-карты CompactFlash или SecureDigital ёмкостью до 32 Гб. В версии v.2 (2010 г.) реализована опция «горячей» замены карт памяти и считывание их отдельно от устройства. Для записи информации на карту используется стандартная файловая система FAT16/FAT32, поддерживаемая практически всеми современными операционными системами. В версии 2 добавлен интерфейс Ethernet, соответствующий стандартам 10BASE-T/100BASE-T, обеспечивающий канальную скорость передачи данных до 100 Мб/с.

Сейсмические работы в угольных шахтах проводятся в условиях как регламентируемой паузы - остановки процесса угледобычи, так и при работающем оборудовании. Как правило, уровень внешних техногенных шумов высокий и очень высокий, поскольку останавливают угледобывающий комбайн только в ближайшем штреке.

Полевая методика проведения в шахтах сейсмических наблюдений на проходящих волнах включает требование по обеспечению максимально возможного равномерного освещения объекта по его периметру. Как следствие, для выполнения этого условия пункты возбуждения и пункты приёма сейсмических волн располагаются в различных штреках, часто без возможности прокладки кабельной линии связи или использования радиоканала для синхронизации их. Более того, в работающей шахте проблематично обеспечить прокладку линии связи без риска её случайного повреждения работающим оборудованием и (или) шахтёрами. Во всех случаях необходимо обосновано выбрать оптимальные условия возбуждения и приёма сейсмических колебаний.

Отметим существование зоны, свя-

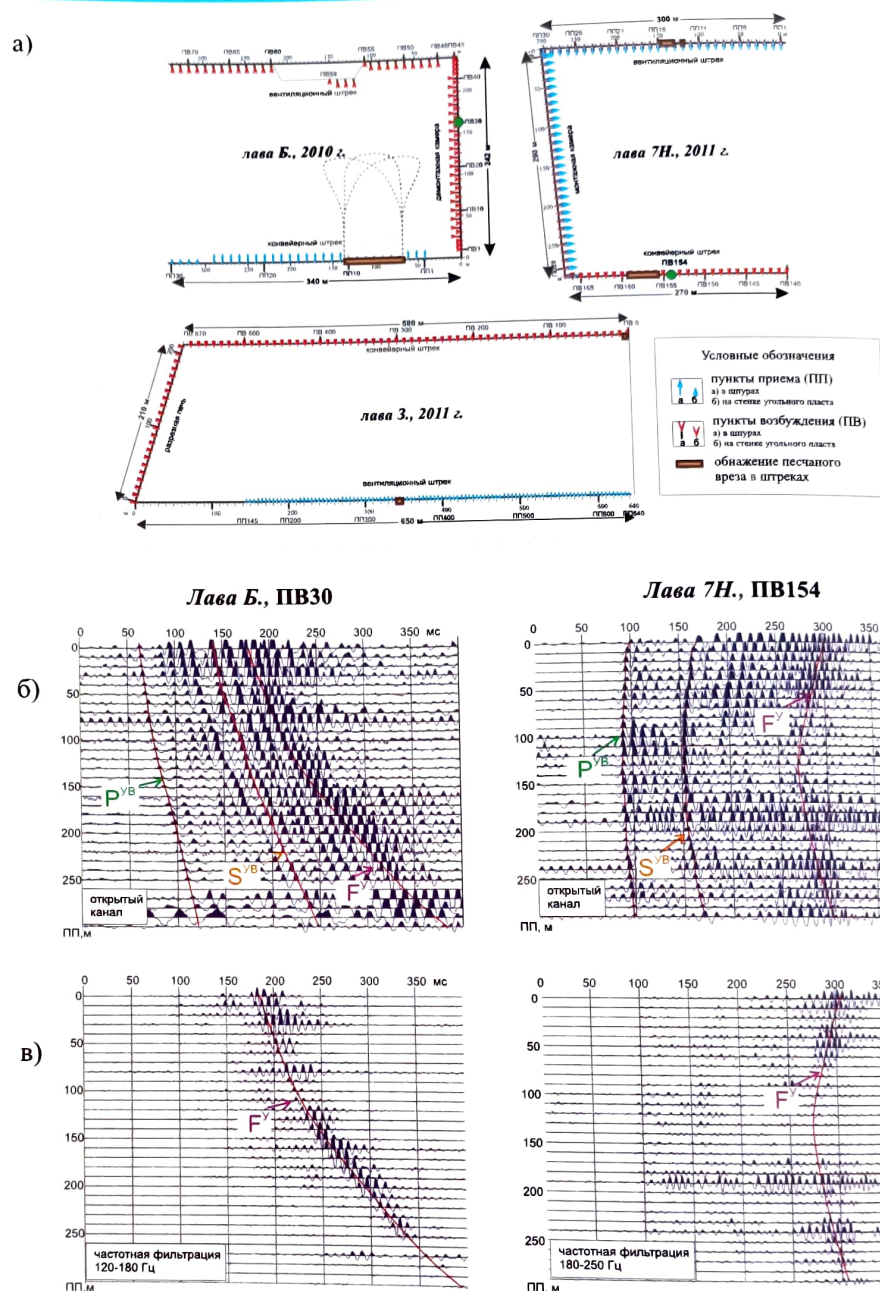


Рис.3. а) Реализованные в угольных шахтах Кузбасса (2010 + 2011 гг.) системы наблюдений на проходящих волнах. Типичные сейсмограммы ОТВ: б) на открытом канале, в) после полосовой частотной фильтрации.

занной с растрескиванием угольных пластов на границе штреков, аналогичной поверхностной зоне малых скоростей. Поскольку пункты приёма и возбуждения упругих колебаний располагаются в пределах угольного пласта, то для максимального подавления влияния этой разрушенной зоны в стенки пласта углубляют сеймоприёмники, а также специальный металлический штырь, по которому выполняется ударное воздействие. При заглублении сеймоприёмников и источников упру-

гих колебаний качество первичного материала существенно повышается.

Общая схема полевых шахтных сейсмических работ следующая (рис. 3а). Пункты возбуждения и приёма сейсмических колебаний располагались на высоте 1 м от дна штреков. Возбуждение упругих колебаний в шахтах на всех участках осуществлялось путем удара кувалдой (весом 8 – 10 кг) по металлической подложке или штырю. В последнем случае штыри помещались в горизонтально пробуренные шпуры глуби-

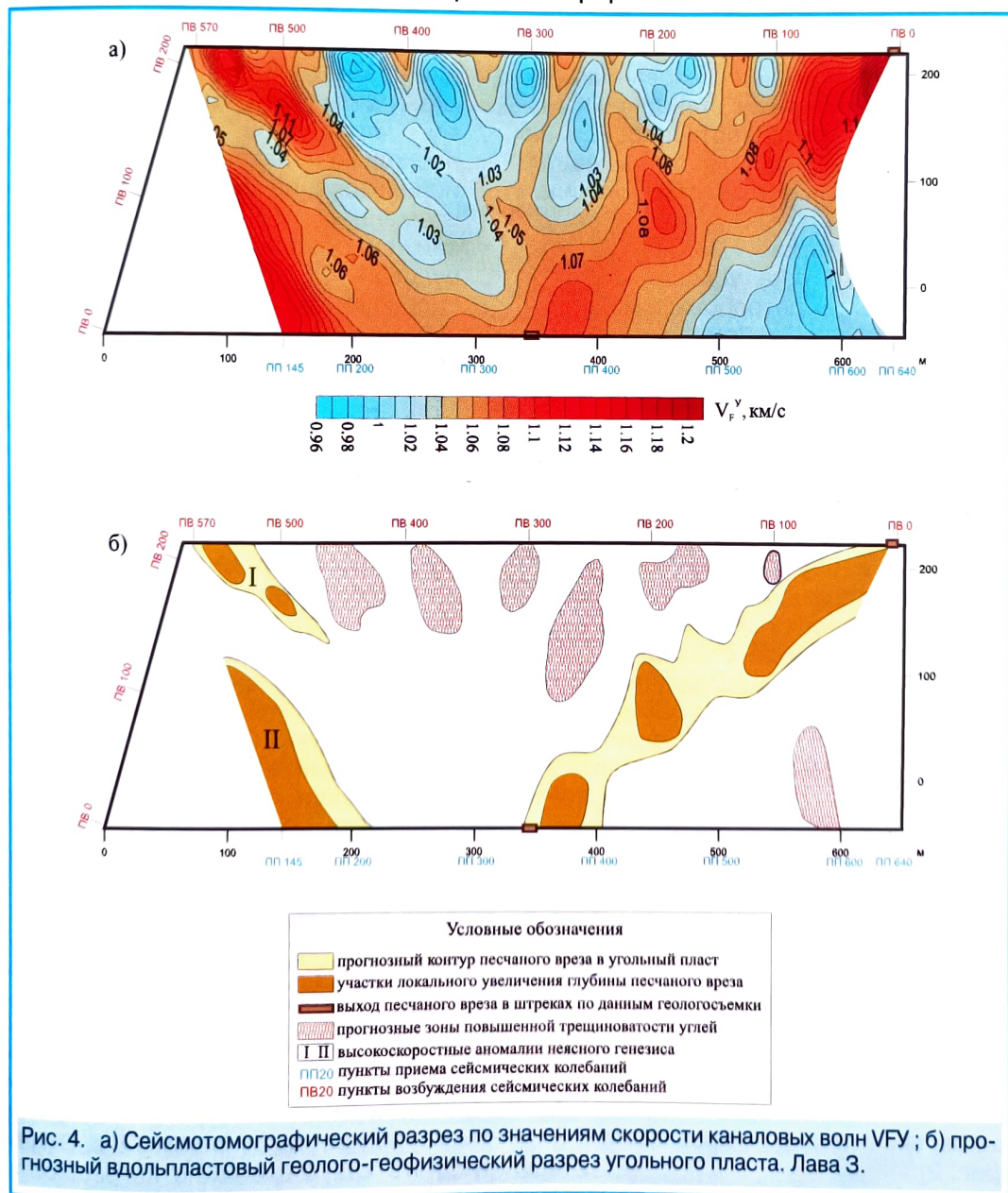
ной ~ 1,5 м. Шаг между пунктами возбуждения (ПВ) составлял 5 или 10 м. На каждом ПВ выполняется несколько (до 8) ударов кувалдой.

Сейсмоприёмники помещались в горизонтально пробуренные шпуров глубиной до 1 – 1,5 м или приклеивались непосредственно к стенке угля. Ось максимальной чувствительности сейсмоприёмников располагалась перпендикулярно стенке угольного пласта. Шаг между пунктами приёма (ПП) составлял 5 или 10 м.

Перед началом сейсмических работ в шахтах автономные станции на дневной поверхности согласуются по мировому времени через спутниковые сигналы по GPS-приёмникам (в новых разработках будут использоваться спутниковые сигналы GPS/Глонасс). Далее для проведения сейсмических измерений синхро-

низованные модули регистрации разносят по рабочим местам в разные штольни шахты.

Для привязки сейсмических данных к мировому времени используется канал регистратора РОСА-А с подключенным сейсмическим датчиком, располагаемым в непосредственной близости от источника возбуждения. В шахтах был применён пьезодатчик, закреплённый непосредственно на кувалде и подключенный к формирователю импульсов нормированной амплитуды и длительности (в качестве последнего использовался одновибратор на КМОП таймере 555). Высокая идентичность импульсов позволяет на этапе начальной обработки сейсмических материалов (препроцессинг) выполнить достоверную идентификацию и временную привязку зарегистрированных отметок момента нача-



ЗАЧЕМ НЕФТЯНИКАМ ГЕОФИЗИКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ла воздействия.

Длительность рабочего сеанса записи составляла около часа, в течение которого отрабатывалось несколько ПВ. Запись сейсмического материала осуществлялась на частоте дискретизации 0,5 мс (рис. 36). На этапе первичной обработки из длительных полевых записей формируются сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОТВ). Большой общий динамический диапазон (свыше 140 дБ) и широкий частотный диапазон (до 3200 Гц) канала регистрации станции РОСА-А, а также прецизионная система временной привязки позволили получить в шахтных условиях качественный материал на проходящих волнах.

Разработка автономной многоканальной сейсмической станции

Выполненные за период 2010-2011 гг. сейсмические работы в шахтах Кузбасса по технологии просвечивания угольных пластов с использованием 4-х канальных автономных станций РОСА-А показали эффективность способа на проходящих волнах для оптимизации технологии разработки угольного пласта (рис. 4).

Однако, жёсткие, можно сказать, предельно жёсткие условия работ в угольных шахтах потребовали модернизации автономной сейсмической системы на базе 4-х канального регистратора. Прежде всего, требовалось усовершенствовать синхронизацию системы регистрации сейсмических данных. Реализованная система синхронизации, выполняемая только на дневной поверхности, требовала периодически выносить оборудование на поверхность, что усложняло полевые работы в целом, являлось дополнительной непроизводительной операцией, просто лишним этапом. Для повышения производительности сейсмических работ в шахте и снижения трудозатрат важно было уменьшить вес полевого оборудования, перемещаемого вручную на значительные расстояния.

В 2011 г. была начата разработка многоканальной автономной сейсмической станции РОСА-АН v.3 [2], целевой задачей которой являлось исправление (исключение) недостатков станции РОСА-А v.2, выявленных при опытной эксплуатации в угольных шахтах. Конструктивно 32-х канальная автономная станция РОСА-АН выполнена в пластмассовом ударопрочном герметичном кейсе, вес станции не превышает 5,5 кг (рис. 2).

Сравнительные технические характеристики автономных станций РОСА-А v.2, РОСА-АН v.3 приведены в таблице. Отличительными характеристиками многоканальной автономной станции являются:

- высококачественный цифровой канал регистрации данных на 32-х разрядных аналого-цифровых преобразователях (Texas Instrument, Inc.);
- 32 рабочих канала + вспомогательный канал для датчика ударного источника + канал синхронизации для PPS – высокоточного секундного импульса спутникового GPS-приёмника;
- для хранения данных используется съёмная SD-карта (до 32 GB) или передача данных в реальном времени по Ethernet (RAW UDP);
- система синхронизации включает: высокоточную систему синхронизации времени на базе приёма спутниковых сигналов GPS/Глонасс, систему проводной синхронизации нескольких автономных станций, использование записи в реальном времени;
- снижен общий вес полевого оборудования;
- способ питания – аккумулятор внешний и/или встроенный. Время непрерывной работы встроенной батареи не менее 16 часов;
- потребляемая мощность в режиме записи менее 0,16 Вт на один канал (менее 5 Вт на станцию);
- алфавитно-цифровая индикация режимов работы в реальном времени, документирование результатов во встроенной памяти, контроль системы регистрации в реальном времени по Ethernet.

Система временной привязки нескольких многоканальных автономных сейсмических станций обеспечивает достигнутый высокий уровень, т.е. при отсутствии спутниковых сигналов погрешность составляет менее 1мс/сутки. Кроме того, появилась дополнительная возможность обеспечения временной взаимной синхронизации станций при помощи кабеля, когда все синхронизируемые устройства соединяются в единый узел. Ведущее устройство раздает значение текущего времени ведомым, с передачей точного секундного импульса. Для синхронизации ведомых устройств (погрешность менее 10-8 или 1мс/сутки) достаточно всего 8 с. Отметим, что кратковременно погрешность

Таблица

Сравнительные технические характеристики автономных станций РОСА-A

№ п/п	параметры	РОСА-A v.2 (2010 г.)	РОСА-AN v.3 (2011 г.)
1	количество каналов, аналоговые геофоны	4	32
2	аналого-цифровой преобразователь	24	32
3	мгновенный/общий динамический диапазон	125/145 дБ (для дискретизации 1 мс)	
4	частотный диапазон регистрации	0 – 3200 Гц	0 – 1600 Гц
5	подавление синфазной помехи	свыше 100 дБ	
6	коэффициент взаимного влияния между каналами	менее минус 120 дБ	
7	коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%	
8	уровень шума при усилении 36 дБ, RMS	менее 0,16 μ В	
9	способ синхронизации времени	GPS-приёмник (погрешность менее 1 мкс); встроенный прецизионный генератор (относительная погрешность частоты менее 10^{-8} / абсолютная - 1мс/сутки)	GPS-приёмник (погрешность менее 1 мкс); встроенный прецизионный генератор (относительная погрешность частоты менее 10^{-8} / абсолютная - 1мс/сутки); + проводная
10	режим записи	автономная запись по программируемому расписанию/ в реальном времени по Ethernet (RAW UDP)	
11	способ хранения данных	съёмный SD (2 ÷ 32 GB)	
12	способ передачи данных	съёмный SD/ Ethernet	
13	максимальная длительность регистрации	не менее 10^9 отсчетов на канал (запись в память), не ограничено по Ethernet	
14	время автономной работы	более 10 суток	
15	возможность контроля системы регистрации	индикация режимов работы в реальном времени; внутренняя самодиагностика с документированием результатов во встроенной памяти; передача по Ethernet	
16	потребляемая мощность в рабочем режиме записи	менее 1,7 Вт (4 канала)	менее 5 Вт (32 канала)
17	способ питания	внешний аккумулятор 9–48 В	встроенная батарея/ внешний аккумулятор 9–48 В
18	вес без аккумулятора	1,7 кг	5,5 кг
19	габариты регистратора	250x100x110, мм	350x242x180, мм
20	рабочий диапазон температур	от – 40 до +60 °С	
21	исполнение	IP67, допустимо погружение в воду	

синхронизации станции достигает $8,5 \cdot 10^{-10}$ (1 период частоты 147,5 МГц за 8 с. Высокая частота получена на встроенном синтезаторе из стабильных 10 МГц).

Схема временной синхронизации программируется так, что один из модулей является ведущим, остальные модули ведомые. Ведущий модуль передает значение внутренних часов и точного секундного импульса, а ведомые принимают их с точностью половины периода 147,5 МГц, что определяет погрешность собственного генератора в тактах за 8 с усреднения и использует это значение в дальнейшем для коррекции времени. В дальнейшем коррекция вводится в систему синхронизации станции распределённой на промежутке 8 с. На выходе системы синхронизации мы имеем реальное время с высокой точностью и опорную частоту дельта-сигма модуляторов АЦП, т. е. синхронную работу любого количества станций.

Сейсмические косы изготовлены по 16 каналов с шагом 5 м, имеют по два разъёма подключения, что позволяет при их переносе исключить операцию перекоммутации каналов. Трудности при изготовлении касались выбора кабельных разъёмов и типа кабеля. Достаточно (даже избыточно) удовлетворял нашим требованиям разъём на 40 контактов и кабель 50 жил, что и показала опытная эксплуатация станции в условиях шахты. Прочие конструкторские решения были отработаны и проверены ранее на предыдущих версиях.

Таким образом, 32-х канальная автономная сейсмическая станция была разработана и изготовлена в кратчайшие сроки (6 месяцев), из которых три месяца ушло на заказ и получение комплектации. Конструкцию и кабели по нашим эскизам проработали и изготовили в ЗАО «Соединитель», г. Миасс Челябинской обл. Изготовление и монтаж многослойных печатных плат выполнила на современном японском оборудовании в сжатые сроки ООО «Новосибирская электронная компания». Выражаем искреннюю благодарность директорам и ведущим специалистам названных организаций за понимание, конструктивное участие и реальную поддержку на протяжении многих лет наших технических разработок в области сейсмической аппаратуры.

Опытная апробация автономной многоканальной станции

Технологические испытания 32-х канальной автономной сейсмической станции РОСА-АН и первые экспериментальные работы с ней в шахте были проведены летом 2011 г. Полученные результаты были оценены как успешные, качество зарегистрированного сейсмического материала (рис. 5) позволяло провести кинематическую обработку, выполнить динамический анализ для обнаружения возможных нарушений в угольном пласте и углевмещающих породах.

В 2012 г. станция РОСА-АН была использована в сейсмических исследованиях по технологии просвечивания на проходящих волнах и по методике многократных перекрытий в одном штреке. Многоканальная автономная станция использовалась одновременно с автономным 4-х канальным регистратором РОСА-А (v.2). Перед началом работы была выполнена на поверхности синхронизация станций по спутниковым сигналам GPS. Количество рабочих каналов (32) заказчика удовлетворяло и поэтому около 90% от общего объёма физ. наблюдений было выполнено многоканальной автономной станцией.

При проведении сейсмических работ с многоканальной автономной станцией были отмечены следующие положительные моменты: существенно упростилась расстановка станции, соответственно, уменьшились временные и трудовые затраты при проведении наблюдений в шахте; уменьшились временные и трудовые затраты на этапе начальной обработки полевых материалов, прежде всего за счёт исключения при процессинге процедуры объединения одновременных записей от разных модулей при формировании сейсмограмм ОТВ.

Тем не менее, были сформулированы дополнительные пожелания по усовершенствованию многоканальной автономной станции.

Во-первых, следует уменьшить вес сейсмической косы, что необходимо и возможно сделать. Основная причина большого веса косы (около 15 кг) в используемом кабеле, который имеет избыточное количество жил 50 при необходимости 32. Для снижения веса оборудования можно рекомендовать уменьшение количества каналов регистрации до 16 (2×8), что сократит вес неразъёмной косы более чем втрое (за счёт кабеля и разъёмов).

Во-вторых, требуется расширить функции контроля технического состоя-

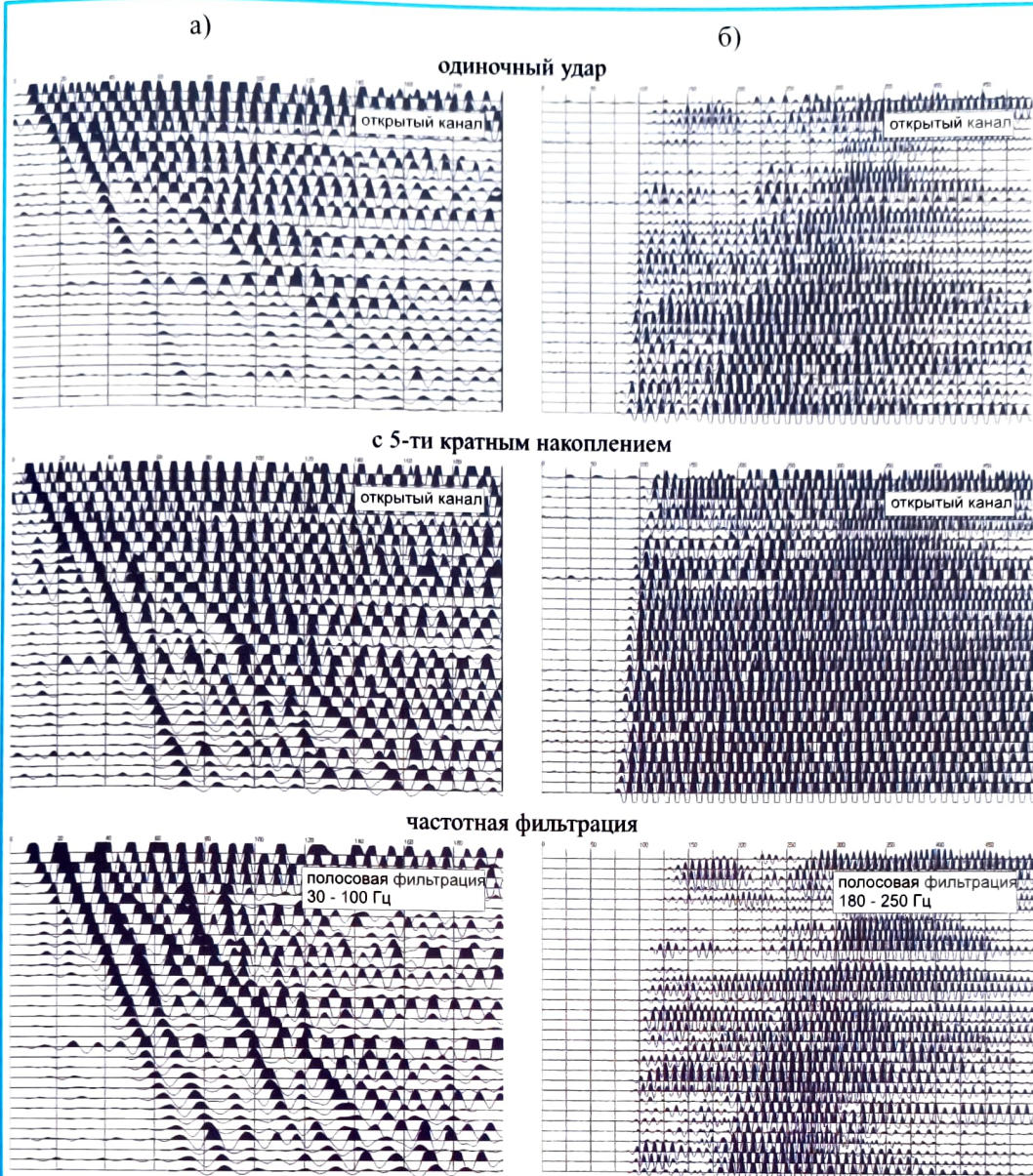
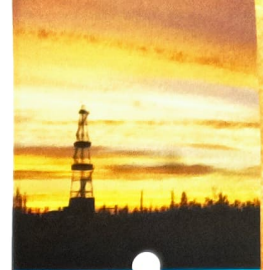


Рис. 5. Сейсмозаписи ОТВ, зарегистрированные автономной станцией POCA-AN в угольных шахтах: а) по технологии многократных перекрытий (в одном штреке), шахта А., 2012 г.; б) по технологии просвечивания на проходящих волнах, шахта З., 2011 г.

ния станции, включив опцию проверки функционирования геофонов по всей расстановке. Эта задача решается с построением и визуализацией тестовых сейсмограмм на экране ноутбука или в полевом модуле регистрации. Канал для обмена с ноутбуком реализован, разрешение его работы в угольных шахтах требует оформления специального допуска Ростехнадзора (для незагазованных шахт эта задача упрощается).

О перспективах развития автономных сейсмических станций

Рассматривая возможные варианты развития автономных сейсмических станций, можно выделить и проработать несколько практически целесообразных и перспективных моделей.

Первое решение, связанное с уменьшением числа рабочих каналов автономной станции, например, до 16 и, соответственно, веса оборудования, находится на этапе согласования с потенциальными заказчиками.

Другой из возможных подходов — реализация автономной станции с использованием телеметрических сейсмических модулей нового типа. Эти же модули предполагается использовать и в наземной телеметрии. Отличительные свойства модулей нового типа — передача цифровых данных и питание по 4-х проводному кабелю (технология «POE» — питание по Ethernet), сверхвысокие скорости передачи данных 100Мбит/с. Следует отметить их

портативность и маленький вес, а также обеспечение автономности за счет использования герметичного центрального модуля со встроенным питанием. Преимущества автономной телеметрической станции — простое наращивание каналов, небольшой вес переносимого оборудования, значительный объем доступной контрольной информации, простота эксплуатации с сохранением свойств автономного режима записи. Отсюда следует возможный отказ от автономной записи внутри модулей и перенос записи данных на центральный модуль, выполненный, например, на ноутбуке или отдельном устройстве. Центральный модуль может быть собран в герметичном кейсе с монитором и герметичной клавиатурой, встроенным аккумулятором. Основная проблема, которую придется решать, заключается в обеспечении искробезопасности. Наличие питания на концах разъёма — это потенциальная опасность искрения, и для её исключения может потребоваться использование специализированных взрывобезопасных разъёмов. Безусловно, необходима жёстко регламентированная технология организации работ.

Третий путь видится в разработке автономных модулей со встроенным геофоном пьезодатчиком, но с внешней бесконтактной синхронизацией и управлением. Вес такого модуля можно ожидать порядка 0,3 кг. Использование пьезодатчиков в качестве геофонов оправдывается широкой полосой регистрируемых сигналов 150 ÷ 1000 Гц. Такие модули можно заглублять в отверстия. В единую расстановку все модули собираются коротко замкнутым витком провода, проходящим через катушки связи (на конце, на проводе, должна быть катушка токовой связи). В единую расстановку включается также модуль управления и синхронизации, ответственный за временную привязку данных, при этом никакие разъёмы, контакты наружу не выходят. Если в модуль установить питание и закрыть его, то он сразу переходит в дежурное состояние. Перевод модуля из дежурного состояния в рабочее происходит по команде, принимаемой катушкой связи. По короткозамкнутому витку передаются команды включения, синхронизация и пр., по окончании работ на дневной поверхности из модулей извлекается накопитель — SD карта, происходит перезарядка или смена источников питания. Здесь выигрыш

получается за счёт сокращения дорогостоящего, высокостабильного, энергоёмкого и габаритного генератора в каждом модуле регистрации. Генератор остается только в модуле управления и синхронизации, один на всю расстановку.

Вместо заключения

В настоящее время в шахтной геофизике остаётся особо актуальной задача прогнозирования горных ударов и газовых выбросов [1, 3]. С технической точки зрения основная трудность в решении этой задачи заключается в обеспечении в режиме реального времени оперативной обработки данных и подготовки экспертного (контрольного) заключения по принятию решения. Эта задача является одной из основных для угледобывающей отрасли, поскольку напрямую связана с обеспечением безопасности людей и сохранностью дорогостоящего производства. Для решения этой задачи можно использовать автономные сейсмические станции, которые позволяют в автономном режиме подготовить решение на месте в виде сигналов тревоги и передавать динамику развития событий на дневную поверхность. Тем более что там, где работают комбайны, нет проблем с энергообеспечением.

Горные удары и газовые и угольные выбросы происходят по причине разрушения угольного столба под давлением крыши и (или) давления газа в пласте. Момент приближения такого катастрофического события характеризуется появлением акустических шумов определенного спектрального состава как результата воздействия горнодобывающего оборудования. Шумы нарастают плавно и разрешаются скачкообразным выбросом угля и (или) газа. Объёмы выбросов могут достигать сотен тонн угля, и могут иметь катастрофические последствия для оборудования и персонала.

Известно оборудование, которое работает следующим образом. Вблизи очистного забоя расположены несколько геофонов, сигнал с которых в реальном времени передается на дневную поверхность, где обрабатывается по определённому алгоритму с целью поиска определённых спектральных составляющих. Кроме того, периодически происходит остановка горнодобывающего комбайна для проведения просвечивания угольного столба с получением разрезов. По совокупности данных принимается решение о вре-

менной остановке выработки до плавной естественной или искусственной разгрузки напряжений. Данный метод не является непрерывным и экономически не выгоден.

Теоретические исследования показывают, что перед событием (выбросом газа), не менее чем за полчаса – час, обязательно усиливается (или появляется) высокочастотный шум. Предвестник события наблюдается на расстоянии в несколько метров. Уровень высокочастотного шума определяет мощность события, которое следует ожидать. Система обнаружения и предупреждения должна быть обучаемая (адаптирована и настроена к данным условиям), т. к. описанные явления специфичны для каждой шахты. Дополнительно к акустической эмиссии нужно регистрировать уровень газовыделения пород с использованием газоанализаторов и температуру. Основная сложность создания подобной аппаратуры связана с необходимостью обработки данных на месте, т. к. передать информацию в реальном времени пока не позволяют каналы связи и большие расстояния. Предварительная обработка данных и, например, передача огибающей БПФ, может значительно (в десятки раз) снизить трафик передачи данных и обеспечить оперативный мониторинг состояния объекта.

Литература

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. Гуляев П.Н. Разработка спектрально-акустического метода контроля изменения напряженного состояния углепородного массива при горных работах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Ин-т проблем комплексного освоения недр РАН, 2007. 19 с.
4. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. [2006]. Первые результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ// Приборы и системы разведочной геофизики. №4
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., Канарейкин Б.А., Сальников А.С., Шмыков А.Н. Сейсмические исследования в шахтах с использованием автономной системы регистрации РОСА-А// Приборы и системы разведочной геофизики, 2011, № 4, с. 40 - 45.
7. Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Бескабельное устройство для регистрации сейсмических данных// Патент №41376 (RU), опубликовано: 20.10.2004 г., Бюл. №20.
8. Сальников А.С., Сагайдачная О.М., Липилин А.В., Сулейманов А.К., Соловьев В.М., Рослов Ю.В. Полевые сейсмические работы на опорных профилях северо-востока России // Приборы и системы разведочной геофизики, 2009, №2, с. 46-54.
9. Сальников А.С., Сагайдачная О.М., Вершинин А.В., Дунаева К.А., Канарейкин Б.А., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Сейсмический способ выявления геологических неоднородностей в угольных пластах// Патент №2455663 (RU), опубликовано: 10.07.2012 Бюл. №19.
10. 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.
11. 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.
12. Salnikov A.S., Dunaeva K.A., Kanareikin B.A., Sagaydachnaya O.M., Harlamov A.S. Technique and results of seismic tomographic studying in coal mines// 5rd Saint Petersburg International Conference & Exhibition (EAFO, EAGE), Saint Petersburg, 2012, Abstract P051.