

Использование глобальных навигационных спутниковых систем в полевой геофизике

Мужно Д.А., Череповский А.В., SERCEL, г. Москва

Краткое содержание

Рассмотрено использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как GPS, в современной полевой геофизике и, в первую очередь, сейсморазведке. Если определение координат пунктов возбуждения и приёма по GPS широко применяется в нашей отрасли уже не один десяток лет, то синхронизация (хронирование) регистрируемых сейсмических данных по GPS стало применяться только в последние 5-7 лет [3]. Благодаря этой новой возможности стали использоваться комбинированные (гибридные) приёмные расстановки, включающие как кабельные, так и бескабельные сегменты. Последние состоят из автономных регистрирующих модулей со встроенными чипами, позволяющими синхронизировать время каждого отсчёта по GPS даже в густом лесу или под снегом. Именно производство недорогих GPS-чипов привело к появлению на рынке большого количества автономных регистрирующих систем, уже широко применяющихся в Западном полушарии, прежде всего в США, при отработке как небольших, так и крупных по размеру съёмок (до 4000 кв. км). Широкие возможности для применения ГНСС существуют и для источников упругих колебаний: например, вибраторы сами определяют свои координаты и T0 (то есть начало возбуждения свип-сигнала). Это позволяет применять новые высокопроизводительные методики наблюдений с автономными источниками и/или приёмниками не только на открытой местности, но и в сложных поверхностных условиях и на площадях с развитой инфраструктурой и населёнными пунктами.

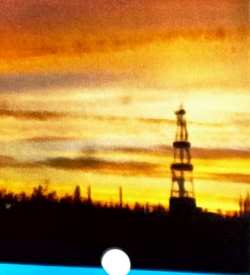
Введение: местоопределение и синхронизация по GPS

Как известно, ГНСС предназначены для определения местоположения, скорости движения, а также точного времени морских, воздушных, сухопутных и других видов потребителей. Это системы двойного назначения, изначально разработанные по заказу и под контролем военных для нужд Министерства обороны. Все действующие ныне спутники передают два вида сигналов: стандартной точности для гражданских пользователей и высокой точности для военных.

Для получения сигнала в любое время и в любой точке земного шара требуется не менее 24 спутников. Орбиты этих спутников образуют "сетку" над поверхностью земли, благодаря чему над горизонтом всегда гарантированно находятся минимум четыре спутника, а их созвездие построено так, что, как правило, одновременно доступно не менее шести. Каждая ГНСС (GPS, Глонасс и – в недалёком будущем – Галилео) содержит резервные спутники, которые, разумеется, повышают точность определения местоположения. Установленные на спутниках атомные часы синхронизируются по более высокоточным наземным эталонам времени и частоты.

В настоящий момент время по GPS отличается от всемирного координированного времени (UTC) приблизительно на полминуты и, в отличие от последнего, не подвержено скачкам, связанным с неравномерным вращением Земли. Например, день 30 июня 2012 г. был удлинён на 1 секунду для компенсации разницы между эталонными часами и астрономическим временем. Соответственно, на одну секунду были остановлены эталонные часы в подмосковном Менделеево. Это происходит один раз в 4-5 лет.

В общем комплексе геофизических работ большая роль принадлежит их топографо-геодезическому обеспечению [2]. Координаты и превышения пунктов возбуждения и приёма (ПВ и ПП) должны определяться с высокой точностью, требования к которой только возрастают при переходе на высокоразрешающие сейсморазведочные методики наблюдений [1, 5]. С начала 90-ых годов прошлого века во многих сейсморазведочных экспедициях координаты ПВ и ПП определяются с помощью ГНСС, позволяющих с достаточной для сейсморазведки точностью (погрешность не более 50 см) определять координаты любого объекта на открытой местности – при использовании базовых станций и дифференциальных поправок (DGPS). Точность местоопределения можно ещё больше повысить – вплоть до 1 см – путём измерения фаз несущей GPS-сигнала



в двухчастотном режиме (например, RTK – «кинематика в реальном времени»). В современных методиках наземной сейсморазведки по GPS определяются не только координаты ПП, но и координаты вибраторов, а также осуществляется режим наведения вибраторов (на следующие виброточки), что позволяет реализовывать съёмки без предварительной разбивки пикетов.

Другое важнейшее требование – синхронизация отсчётов сейсмических трасс относительно некоего общего эталона. До 2000 года синхронизация обеспечивалась по кабелю или с помощью радиосвязи в диапазоне ОВЧ, а эталоном служили часы на сейсмостанции. Теперь синхронизация регистрируемых отсчётов сейсмотрасс (с точностью 1 мкс) достигается по отношению к очень точным часам на спутниках (1 наносекунда в день). При этом предполагается, что положение синхронизируемых пунктов известно, поскольку необходимо рассчитывать время распространения сигнала от спутника до каждого пункта наблюдений. В таком режиме, режиме синхронизации по GPS, достаточно одного спутника (а не 4-5, как для местоопределения), что и позволяет успешно синхронизировать регистрируемые данные даже в условиях густой растительности или сложного рельефа местности.

То же эталонное время должно использоваться на каждом вибраторе: 1) чтобы он начинал возбуждать свип-сигналы в соответствии с заданными отметками T_0 ; 2) при автономном режиме работы – для фиксации точного времени свип-сигналов, отработываемых по готовности группы вибраторов или одиночных вибраторов.

Единственным в отрасли сейсмоприёмником, снабжённым встроенными GPS-приёмниками, является трёхкомпонентный акселерометр DSUGPS компании Sercel. Такие одиночные датчики, используемые для многоволновой сейсморазведки, значительно сокращают время их установки в грунт благодаря двум GPS-приёмникам, находящимся на расстоянии около 20 см друг от друга. Эти GPS-приёмники позволяют определить как координаты датчика (с точностью около 1 м), так и азимут его установки (с точностью 3 градуса).

Разумеется, ГНСС используется не только в сейсморазведке, но и в других геофизических методах. Например, во

Франции GPS-приёмники широко применяются с 2009 года в высокоразрешающей электроразведке, а именно при детальном профилировании методом кажущихся удельных сопротивлений для картирования глубины и состава грунтовых вод. В этом случае антенна небольшой высоты (около 2-х метров) устанавливается на прицепе, металлические колёса которого служат и электродами. Измерения выполняются при скорости буксировки прицепа по профилю 10-12 км/час. Поскольку шаг наблюдений составляет всего 10 см, то для достаточно точного определения координат пунктов измерения используется режим «кинематики в реальном времени» (RTK-GPS).

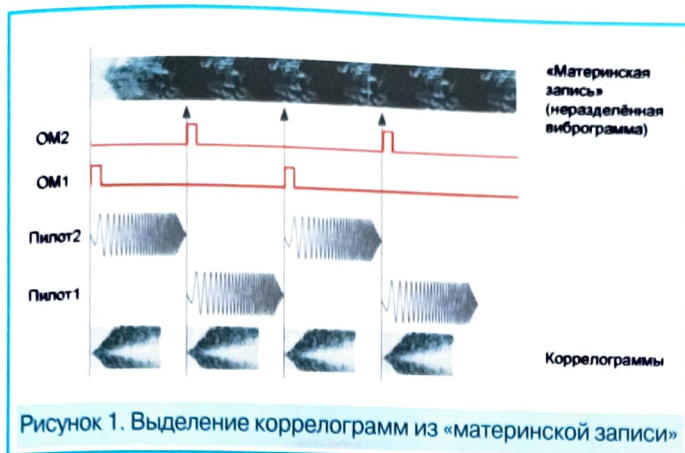
Независимые источники и приёмники в сейсморазведке

Одна из функций ГНСС – передача временных меток (PPS) с интервалом 1 сек (с точностью 15 наносек). Это абсолютное время, отсчитываемое с 0 часов 6 января 1980 года. Это означает, что каждый отсчёт сейсмических трасс не только синхронизирован, но и привязан хронологически.

В интервале между временными метками PPS кварцевый генератор выполняет интерполяцию с заданным шагом дискретизации (с точностью 1 мкс). Если GPS-сигнал пропадает, то кварцевый генератор поддерживает точность 10 мкс в течение, по крайней мере, 15 минут (или больше, в зависимости от колебаний температуры).

В новейших регистрирующих системах (после 2005 г.) привязка к GPS-времени стала осуществляться не только в центральной электронике, но и в автономных приёмниках и источниках (например, с помощью электроники вибраторов VE464). Задавая значения T_0 , совпадающие с одной из временных меток PPS, мы оказываемся в идеальной ситуации, в которой начало работы виброисточника и первый отсчёт сейсмической записи синхронизированы для всех кабельных и бескабельных каналов.

В последние 5-7 лет стал возможен переход от централизованных кабельных систем к автономным бескабельным системам. Главный компонент, обеспечивающий этот переход, – это недорогие высокочувствительные миниатюрные GPS-чипы с низким энергопотреблением. Такие GPS-чипы предназначены только для синхронизации отсчётов сейсмических трасс, а не для определения координат ПП или



динат, так и для синхронизации, также могут работать автономно, без связи с центральной электроникой. В этом случае как центральная электроника, так и удалённые автономные приёмные модули записывают непрерывный поток сейсмических отсчётов, синхронизированных по GPS. Поскольку вибраторы записывают время начала возбуждения каждого свип-сигнала (T_0), то простая корреляция с опорным сигналом («пилотом») позволяет одновременно извлечь нужную сейсмограмму из непрерывной «материнской» записи (Рис. 1). Таким образом, вибраторы могут начинать возбуждение свип-сигналов, как только они выезжают на нужные виброточки, без какой-либо команды по радио, – в компании BP такая методика запатентована как ISS (Independent Simultaneous Sweeping). Точки возбуждения могут обрабатываться и по заранее заданной временной схеме во избежание чрезмерного наложения свип-сигналов (как в методиках slip-sweep или V1). По таким методикам в одной сеймопартии могут эффективно работать 16-24 (одиночных) вибраторов, и на открытой местности производительность мега-партий может превышать 1000 виброточек в час. Но важнейшим условием для реализации такого подхода является наличие большого количества активных каналов или «супер-расстановки».

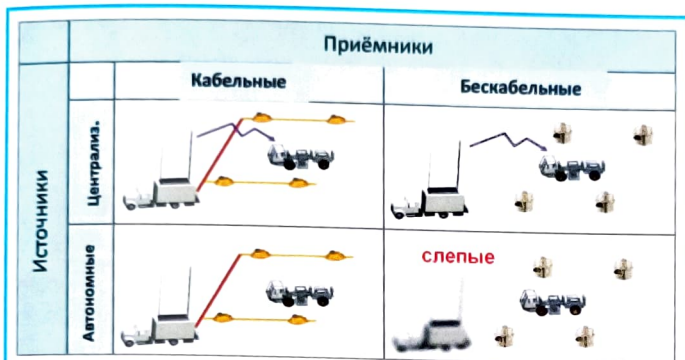


Рисунок 2. Различные конфигурации наземной сейсмической партии при использовании глобальных спутниковых систем местоопределения и синхронизации

ПВ, поскольку для местоопределения в сейсморазведке требуется, как минимум, точность дифференциального режима (DGPS). Точная синхронизация по GPS открывает путь к использованию автономных приёмных модулей. Другие важные компоненты, необходимые для длительной работы автономных модулей – это компактные литиево-ионные (LiO) аккумуляторы, флеш-память (4-16 Гб) и электроника с низким энергопотреблением.

Главный недостаток бескабельных регистрирующих систем – отсутствие контроля качества сейсмических данных в реальном времени, по крайней мере, в доминирующих на рынке «слепых» и «полуслепых» регистрирующих системах [4, 5]. Радиотелеметрический режим с передачей данных в реальном времени возможен в некоторых бескабельных системах (например, Sercel UNITE), но его реализация требует дополнительных финансовых и временных затрат на установку сети антенн и их перемещение по площади работ, а также на получение разрешения на использование радиочастот.

Что касается источников, то вибраторы, на которых установлены GPS-приёмники как для определения коор-

динат, так и для синхронизации, также могут работать автономно, без связи с центральной электроникой. В этом случае как центральная электроника, так и удалённые автономные приёмные модули записывают непрерывный поток сейсмических отсчётов, синхронизированных по GPS. Поскольку вибраторы записывают время начала возбуждения каждого свип-сигнала (T_0), то простая корреляция с опорным сигналом («пилотом») позволяет одновременно извлечь нужную сейсмограмму из непрерывной «материнской» записи (Рис. 1). Таким образом, вибраторы могут начинать возбуждение свип-сигналов, как только они выезжают на нужные виброточки, без какой-либо команды по радио, – в компании BP такая методика запатентована как ISS (Independent Simultaneous Sweeping). Точки возбуждения могут обрабатываться и по заранее заданной временной схеме во избежание чрезмерного наложения свип-сигналов (как в методиках slip-sweep или V1). По таким методикам в одной сеймопартии могут эффективно работать 16-24 (одиночных) вибраторов, и на открытой местности производительность мега-партий может превышать 1000 виброточек в час. Но важнейшим условием для реализации такого подхода является наличие большого количества активных каналов или «супер-расстановки».

Новые подходы к наземной сейсморазведке

Новые методики и технологии, использующие ГНСС, открыли путь к новым конфигурациям сейсмических партий. Теперь источники и приёмники могут быть как централизованы (кабельные системы), так и автономны (бескабельные системы). В централизованной конфигурации приёмные каналы соединены кабелями с центральной электроникой, и источники получают команды с регистрирующей станции по радио (Рис. 2). В этом случае синхронизация, также как и контроль качества в реальном времени, обеспечиваются очень просто. Пол-

ностью автономная конфигурация для источников и приёмников (как в методике ISS) допускает отсутствие полевой регистрирующей системы, и такая сейсморазведка будет «слепой». Супервайзеру в этом случае придётся сосредоточиться на соблюдении партии предписанных технологий и норм, а не на качестве исходных данных.

Однако, между этими крайними вариантами есть конфигурации, в которых либо источники, либо приёмники соединены по радио с центральной электроникой. При наличии радиосвязи с вибраторами можно оперативно получать оценки состояния источников и загружать эти оценки в базу данных в виде текстовых файлов (ASCII). С использованием ГНСС и географических информационных систем (ГИС), получаемые данные можно анализировать как во временной, так и в пространственной области, чтобы установить, связаны ли наблюдаемые в регистрируемых данных флуктуации с изменениями сейсмогеологических условий или с методикой работ, погодой и другими факторами, меняющимися во времени.

На практике все четыре конфигурации, показанные на Рис.2, не должны рассматриваться как взаимоисключающие. В последние годы всё чаще применяются гибридные приёмные расстановки, состоящие из кабельных и бескабельных сегментов (Рис.3). Такие сегменты могут соседствовать и чередоваться (в соответствии с типом грунта, наличием препятствий и экологически чувствительных зон и т.п.) или перекрываться (если нужно сократить интервал между ПП для неглубоко залегающих целевых границ или добавить трёхкомпонентные датчики для прогнозирования геологического разреза и расчёта коллекторских свойств). Если применяется такая смешанная конфигурация, важно предусмотреть совместимость всех сегментов приёмной расстановки. Разумеется, заказчику важно получить однородную сейсмическую информацию (одни и те же параметры регистрации, одна и та же электроника и те же меры контроля качества) в одном выходном формате (например, сейсмограммы ОПВ в формате SEG-D).

Такие различные конфигурации при-

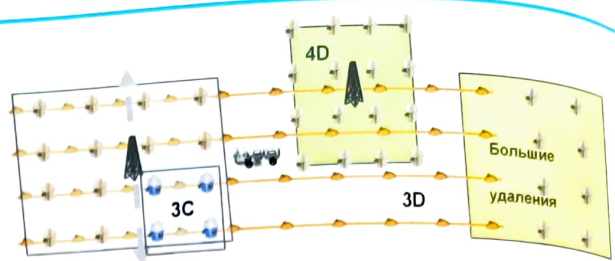


Рис.3. Примеры гибридных площадных расстановок с кабельными и бескабельными сегментами и с разными типами сейсмоприёмников. Такие сегменты могут соседствовать друг с другом, так и перекрываться

ёмных расстановок позволяют выполнять высокопроизводительные и высокоплотные работы 3D в более сложных поверхностных условиях и получать более качественные изображения исследуемой геологической среды.

Благодарности

Авторы выражают благодарность своему коллеге, Жаку Амону, за обсуждение тех идей и технологий, которые описаны в данной работе, и за помощь в подготовке рисунков.

Литература

1. Варенков Е.В., О требованиях к геометрии сейсмической съёмки 3D. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №03(37)/2011, с.25-27.
2. Иванов А., Технологии Leica Geosystems для топографо-геодезического обеспечения геофизических изысканий. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №03(37)/2011, с.28-30.
3. Мужно Д.А., Череповский А.В., Как глобальные спутниковые системы трансформируют регистрацию данных наземной сейсморазведки. – Тезисы 14-ой конференции по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных Геомодель-2012, Геленджик, 10-14 сентября 2012 г.
4. Череповский А.В., Мужно Д.А., Оправдан ли переход на бескабельные системы регистрации? – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №02(36)/2011, с.16-20.
5. Череповский А.В., 2012. Сейсморазведка с одиночными приёмниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съёмки. – Образовательное турне EAGE, Москва, 2012, 133 с.