

«Система синхронизации, управления и контроля SGD-SP для электромагнитных импульсных источников сейсмических колебаний – пять лет в поле»

А.А. Будченко, С.А. Злобин, А.И. Паули, А. Б. Ревунов, В.П. Черепанов, С.А. Шпильман, НПК «СибГеофизПрибор», г. Новосибирск

В 2002 году ООО НПК «СибГеофизПрибор» завершило разработку системы синхронизации, управления и контроля SGD-SP (система SGD-SP) для электромагнитных импульсных источников возбуждения сейсмических колебаний и приступило к её серийному выпуску. За пять полевых сезонов 2002-07 было изготовлено и поставлено геофизическим предприятиям: контроллеров SGD-SP – 100 шт. и устройств синхронизации и управления SGD-SP – 287 шт., которые применяются более чем в 36 производственных геофизических партиях России.

Система синхронизации и управления SGD-SP предназначена для работы в составе многоканальных сейсморазведочных станций отечественного и зарубежного производства SN-388, 408UL, 428XL фирмы Sercel (Франция), I/O SYSTEM и др. фирмы INPUT/OUTPUT, Inc. (США) и т.п., при проведении профильных и площадных сейсморазведочных работ с применением импульсных электромагнитных источников возбуждения сейсмических колебаний типа «ЕНИСЕЙ», «ГЕОТОН» и т.д.

Возбуждения сейсмических колебаний может осуществляться от одной до четырех независимыми системами SGD-SP (группами) возбуждения, в состав каждой из которых входит до четырех («ГЕОТОН», «Енисей СЭМ-20») или до пяти («Енисей СЭМ-100», «Енисей ВЭМ-100», «Енисей КЭМ-130», «Енисей КЭМ-4») синхронных подгрупп (пунктов возбуждения). В каждую подгруппу (пункт возбуждения) может входить от одного до шести источников «ГЕОТОН» («СЭМ-20»), до двух источников «Енисей СЭМ-100», «Енисей ВЭМ-100» или один «Енисей КЭМ-130», «Енисей КЭМ-4/2». Таким образом, возможно возбуждение сейсмических колебания одновременно двадцатью четырьмя источниками «ГЕОТОН» («СЭМ-20»), десятью – «Енисей СЭМ-100» или пятью – «Енисей КЭМ-4/2» [1], [2].

Сначала немного истории о создании современной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников.

Система синхронизации SGD-S, которая выпускается НПК «СибГеофизПрибор» (ранее «СибГеоСейс») с 1999 года, была предназначена не только для работы с взрывными источниками возбуждения сейсмических колебаний, но и с невзрывными. Управление запуском невзрывного (импульсного) источника осуществлялось здесь традиционным способом, как и во всех системах синхронизации в это время. Т.е. вместо подачи высокого напряжения на клеммы «боевой линии» для подрыва заряда на дополнительный выходе синхронизатора (дешифратора) формируется сигнал запуска импульсного источника. Принципиальным недостатком этих систем синхронизации является отсутствие возможности передачи контрольной информации о работе электромагнитного источника по существующему обратному каналу, аналогично сигналу $T_{\text{верт}}$ для взрывных систем синхронизации.

В августе 2001 года по заказу филиала «ГЕОТЕХНОЦЕНТР» ОАО «Енисейгеофизика» была завершена разработка и изготовлен опытный образец системы синхронизации и управления кодоимпульсным электромагнитным

источником возбуждения сейсмических колебаний на базе системы синхронизации SGD-S. В этой аппаратуре впервые для контроля работы электромагнитного источника были применены акселерометры и тензометрические датчики. В это же время проходила испытания аппаратура, разработанная и изготовленная ЗАО «СейсЭл», в которой также использовались акселерометры.

В декабре 2001 года по заказу ОАО «Ханты-Мансийскгеофизика» была сделана попытка реализации контроля качества работы источника «Енисей СЭМ-100» под управлением системы синхронизации SGD-S с использованием канала $T_{\text{верт}}$ и аналоговых акселерометров. Хотя сразу было понятно, что система не приспособлена для решения этих задач. Однако необходимо было оснастить производственные подразделения уже в текущем полевом сезоне какой-либо системой контроля. В ходе работ в полевом сезоне 2001-02 года стало окончательно ясно – необходимо разработка специализированной системы синхронизации, управления и контроля для электромагнитных импульсных источников возбуждения сейсмических колебаний, потому что низкая помехозащищенность аналоговых акселерометров не позволяет достоверно зарегистрировать величину ускорения (силу), время начала и окончания воздействия источника на грунт. Максимально, что можно было зарегистрировать – ударил источник или нет. Кроме того, существующая система синхронизации не позволяет контролировать работу одновременно несколько источников и управлять силой воздействия источника на грунт.

С геофизической точки зрения качество работы электромагнитного импульсного источника можно представить тремя параметрами:

Первый – одновременность (синхронность) начала воздействия на грунт всех импульсных источников;

Второй – величина силы (ускорение) воздействия импульсного источника на грунт;

Третий – длительность (мс) воздействия импульсного источника на грунт, которая вместе с силой (ускорением) определяет количество энергии излучаемой (формируемой) импульсным источником продольной сейсмической волны

В сентябре 2002 года был получен заказ на создание такой специализированной системы синхронизации, управления и контроля SGD-SP (Версия V1.x.x) для электромагнитных источников «ГЕОТОН».

Опыт эксплуатации системы SGD-SP в зимнее время 2003 года в Эвенкии (ОАО «Тюменнефтегеофизика») и в условиях Крайнего Севера (ОАО «Ямалгеофизика») показал правильность выбранных технических решений и надёжную работу оборудования.

В апреле 2003 года в Пуровском районе Тюменской области на базе СП85 Туринской ГЭ ОАО «Ханты-Мансийскгеофизика» были проведены производственные испытания системы SGD-SP, установленной на источниках «Енисей СЭМ-100».

Состав системы SGD-SP (Версия V1) входят следующие устройства:

Контроллер SGD-SP (Версия V7.2) – устанавливается на сейсмостанции и предназначен для

передачи на команды «FIRE» (ПУСК) на устройство синхронизации и управления (УСУ) SGD-SP по радиоканалу, формирования сигнала запуска («Time Break») сеймостанции, приёма сигналов «Decoded Time Break», «Confirmation Time Break» и сигнала «Analog Up Hole Time»;

Устройства синхронизации и управления (УСУ) SGD-SP (Версия V1.x.x) - устанавливаются на транспортных средствах (например, тракторах, которые буксируют одновременно от 1 до 6 источников) и предназначены для приёма и дешифрации команды «FIRE» (ПУСК), переданной контроллером, дистанционного управления и контроля источников, формирование сигналов



Рис. 1. Контроллер SGD-SP (Версия V7.2)

«Decoded Time Break», «Confirmation Time Break» и передачи их на контроллер.

Коммутаторы-стабилизаторы (КС) SGD-SP - устанавливаются рядом или внутри устройства заряда-разряда (УЗР) на импульсных источниках и предназначены для управления зарядом накопительных конденсаторов источника, организацией обмена данными между цифровыми акселерометрами и датчиками тока и УСУ SGD-SP.



Рис. 2. Устройство синхронизации и управления SGD-SP (Версия V1.x.x)

Цифровые акселерометры SGD-AD - устанавливаются на «пригрузах» индукторов электромагнитных источников и предназначены для измерения и регистрации сигнала ускорения (силы).

Запоминающее устройство SGD-MFlash - предназначено для перезаписи контрольных значений величин ускорения и тока из энергонезависимого ЗУ УСУ.

Все устройство входящие в состав системы SGD-SP (кроме контроллера) предназначены для работы при температуре окружающей среды от минус 40 до +60 С.

В таблице 1 приведен перечень, объём и распределение оборудования выпущенного по настоящее время.

Главные особенности системы SGD-SP (Версия V1):

- надёжная работа в составе многоканальных

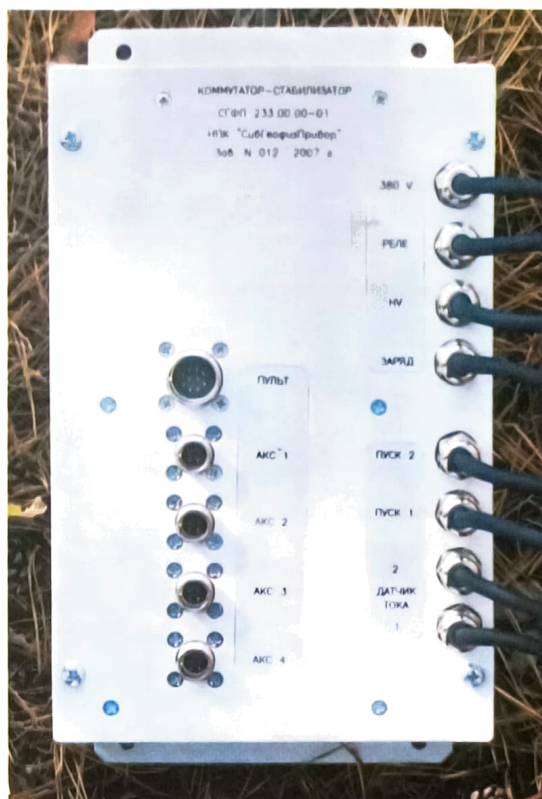


Рис. 3. Коммутатор-стабилизатор SGD-SP



Рис. 4. Цифровой акселерометр SGD-AD

сейсмических станций отечественного и зарубежного производства;

- высокая помехоустойчивость и точность синхронизации в условиях сильнопересечённой местности и промышленных радиопомех (± 50 мкс);

- независимая работа одновременно четырёх систем синхронизации;

- работа контроллера в режиме «ведущий-ведомый» для группирования неограниченного количества сеймостанций и их синхронного запуска;

- синхронизация, управление и контроль 24-х импульсных источников;

- управление напряжением заряда накопительных конденсаторов (сила удара);

- регистрация значения ускорения цифровым акселерометром для контроля силы удара, начала и окончания времени воздействия (удара) источника на грунт;

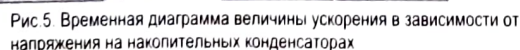
- регистрация значений тока цифровым датчиком тока для контроля тока в электромагнитном источнике;

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- контрольная запись величин ускорения и тока в энергонезависимое ЗУ УСУ;
- перезапись контрольных записей из ЗУ УСУ на Notebook (ЗУ ***SGD-MFlash***);
- отображение на индикаторе УСУ времен срабатывания (синхронность) импульсных источников
- передача по радиоканалу контрольных записей о работе каждого источника на сейсмостанцию и их отображение на вспомогательном канале или на экране вспомогательного компьютера типа Notebook.

Оператор источника включает питание УСУ, затем тумблерами «1» — «6» включает источники, контролируя при этом состояние индикаторов «ОШИБКА/СИЛА» и «ОШИБКА/НАПР». Включенное состояние индикатора означает неисправность соответственно акселерометра или коммутатора-стабилизатора источника. При отсутствии неисправностей (все индикаторы «ОШИБКА» погашены) оператор источника включает заряд и стабилизацию напряжения на накопительных конденсаторах источников. В процессе заряда конденсаторов на дисплее УСУ индицируются текущие значения напряжений на конденсаторах источников. Когда напряжения на конденсаторах достигают заданных значений, загораются светодиоды УСУ «ГОТОВ». Далее оператор источника передает тоновый сигнал готовности к работе и УСУ переходит в режим приема радиокоманды «FIRE».

Контроллер принимает из сейсмостанции ASCII строку. По команде сейсмостанции «Firing Order» с контроллера передается сигнал подготовки с частотой 1250 Гц. После сигнала подготовки контроллер



передает команду «FIRE». После передачи радиокоманды «FIRE» контроллер, через заданное оператором время задержки «Задержка от ПО», выдает в сеймостанцию сигнал начала регистрации сейсмограммы «Time Break».

Ведущий УСУ распознает переданную контроллером команду «FIRE», передает декодированной отметки момента «Dec TB», и запускает источник. Ведомые УСУ распознают переданную контроллером команду «FIRE», запускают свои источники.

Акселерометры и датчики тока, установленные на источниках, в течение 20 микросекунд после удара регистрируют данные об ускорении и токе. УСУ считывают данные, зарегистрированные акселерометрами, и анализируют их с целью определения момента срабатывания источников. Эти данные сохраняются в энергонезависимой памяти УСУ. Момент срабатывания источника определяется по моменту достижения ускорением заранее заданного значения. Если на каком-либо источнике ускорение не достигло заданного значения в течение заданного времени, на УСУ загорается соответствующий светодиод «ОШИБКА/СИЛА».

Далее УСУ передают зафиксированные времена срабатывания источников в контроллер. Последовательность передачи времен срабатывания определяется параметром УСУ «Response order» (от 1 до 4) и номером источника. Каждому из 24-х источников отводится свое временное окно. Момент срабатывания передается путем изменения положения кодовой посылки «Conf TB» (отклика источника) внутри временного окна. Если источник штатно не отработал, или время срабатывания превысило 8 мс, отклик источника не передается. На дисплее УСУ отображаются времена срабатывания подключенных источников.

Контроллер принимает и декодирует сигналы «Dec TB» и «Conf TB», затем формирует на выходах вспомогательных каналов «ConfTB» и «AngUpHole» импульсы длительностью 50 мс. Передний фронт первого импульса соответствует моменту запуска источников. Передние фронты последующих импульсов отстоят от начала соответствующего временного окна (см. рис.7) на десятикратное время срабатывания источника. Например, если первый источник второго УСУ имеет время срабатывания 1,5 мс, передний фронт соответствующего импульса будет находиться на расстоянии $(1450 + 1,5 \cdot 10 = 1465)$ микросекунд от момента запуска источников, т.е. от переднего фронта первого импульса. На дисплее контроллера также отображается информация о количестве ответивших источников и о среднем времени их срабатывания.

УСУ после выполнения удара снова заряжают накопительные конденсаторы источников, при этом УСУ показывают текущие значения напряжений и ждут очередной радиокоманды «FIRE». На дисплее синхронизаторов также отображается

количество произведенных ударов.

По окончании серии накоплений оператор источника нажатием кнопки УСУ «СБРОС» выключает заряд конденсаторов источников. Для разряда остаточного напряжения на конденсаторах источников оператор должен выполнить удар нажатием кнопки пульта «УДАР», после чего светодиоды «ГОТОВ» гаснут. На дисплее УСУ отображается информация о количестве произведенных в серии ударов и номер следующего пикета возбуждения. При переходе на следующий пикет питание УСУ необходимо выключить.

Следует иметь в виду, что в процессе выполнения серии накоплений кнопки «СБРОС» и «УДАР» блокируются после каждого удара на время, равное значению параметра УСУ «Max Chrg. Time», т.е. максимально допустимому времени заряда конденсаторов. Данная блокировка предотвращает преждевременный сброс источников и порчу сейсмограммы выполненным не вовремя ударом.

С ноября 2005 года ООО НПК «СибГеоФиз-Прибор» приступило к производству новой второй версии системы **SGD-SP** в состав, которой вошли:

- 1) новый контроллер **SGD-SP** (версия V8 хх);
- 2) новое УСУ **SGD-SP** (версия V2 хх);
- 3) новый цифровой акселерометр **SGD-AD** (версия V3 хх);
- 4) устройство заряда/разряда.

Новые особенности системы SGD-SP (Версия V2):

• *возможность подключения GPS-приёмника к УСУ SGD-SP и автоматическое отображение положения пункта возбуждения средствами сеймостанции;*

• *увеличена скорость передачи данных и объём контрольной информации по радиоканалу на сеймостанцию и отображение её на графическом экране контроллера SGD-SP или компьютера типа Notebook (оперативный контроль за качеством работы импульсных источников);*

• *новая конструкция цифрового акселерометра SGD-AD обеспечивает надёжную гальваническую развязку между корпусом источника и электрическими цепями УСУ SGD-SP, коммутатора-стабилизатора SGD-SP, устройства заряда/разряда и акселерометра, а также дополнительную механическую прочность при соударении индуктора с якорем;*

• *устройство заряда/разряда обеспечивает полную гальваническую развязку между входным напряжением питания сети переменного тока и выходным высоковольтным напряжением, а также заряд накопительного конденсатора постоянным током.*

Результаты работы новой версии системы **SGD-SP** в полевые сезоны 2005 – 2007 годы показали:

- 1) возможность отображение на экране контроллера **SGD-SP** показаний акселерометров

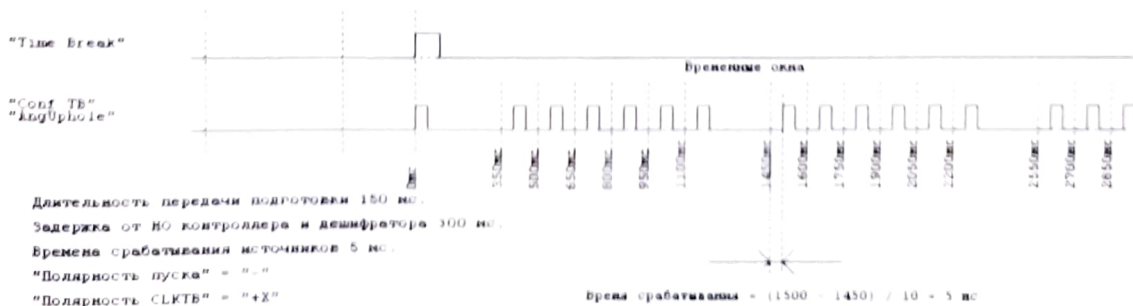


Рис. 6. Временная диаграмма срабатывания источников

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙМОГРАФИКА

позволила оператору самостоятельно контролировать не только синхронность срабатывания импульсных источников, но величину силы (ускорения) и длительность воздействия импульсного источника на грунт, которые и определяют количество энергии илучаемой (формируемой) импульсным источником продольной сейсмической волны.

2) новая конструкция цифрового акселерометра **SGD-AD** позволила существенно уменьшить количество отклонений 10-15% до 2-3%.

3) к сожалению, функции возможности подключения **GPS-приёмника пока не предусмотрено**.

Однако, информации, которую в настоящее время видит оператор импульсного источника на экране **UCV SGD-SP** не достаточно, чтобы судить о величине энергии илучаемой продольной сейсмической волны, т.е. эффективности работы источника. На дисплее **UCV SGD-SP** оператор видит величину напряжения, до которого зарядился накопительный конденсатор и время срабатывания (синхронность). Для того чтобы посмотреть форму кривых с акселерометров и оценить качество работы источника — величину зазора (длительность импульса), величину ёмкости накопительного конденсатора (амплитуда импульса) необходимо считать с помощью компьютера или перенести в запоминающее устройство **SGD-MFlash** эти данные, которые хранятся в энергонезависимой памяти **UCV SGD-SP**. И только потом, в стационарных условиях, посмотреть их на экране компьютера. Таким образом, оператор источника не имеет возможности в полной мере контролировать качество работы источника непосредственно на профиле, своевременно обнаруживать и устранять не-

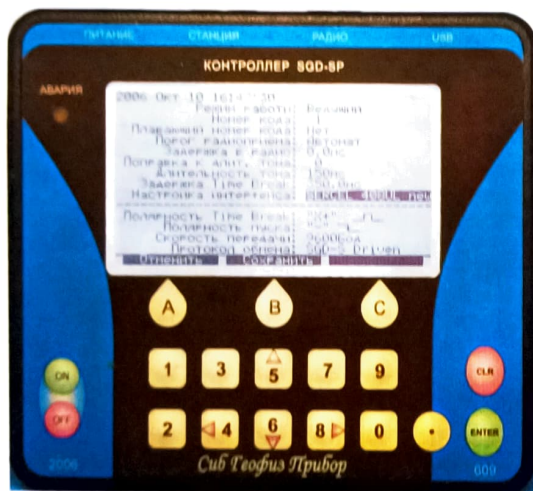


Рис. 7. Контроллер SGD-SP (Версия V8.x)

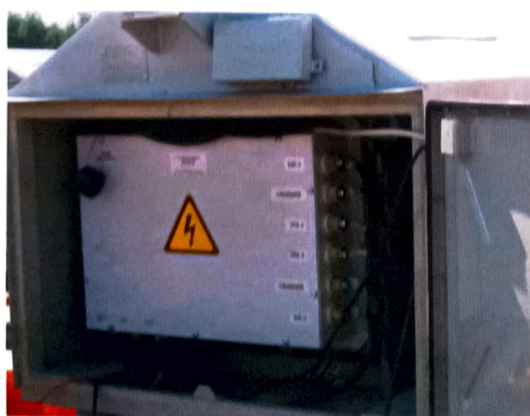


Рис. 8. УЗР источника «Енисей СЭМ-100М»



Рис. 9. Устройство синхронизации и управления SGD-SP (Версия V3.x.x)

правности. Что, безусловно, сказывается на качестве сейсмического материала.

Поэтому, начиная с ноября 2007 года ООО НПК «СибГеофизПрибор» приступило к производству третьей версии системы **SGD-SP** — контроллера **SGD-SP** (версия V8.x) и **UCV SGD-SP** (версия V3.x.x).

UCV SGD-SP третьей версии имеет большой графический экран размером 256x128 точек, который позволил отобразить следующие параметры работы двух источников типа «Енисей СЭМ-100»:

- 1) входное напряжение питания от генератора переменного тока;
- 2) напряжение заряда накопительного конденсатора каждого источника;
- 3) время срабатывания каждого двигателя («лыжи») источника;
- 4) длительность воздействия каждого двигателя («лыжи») источника на грунт;
- 5) количество накоплений.

Таким образом, оператор источников имеет возможность в динамике отслеживать поведения каждого источника («лыжи») процессе движения по профилю и своевременно обнаруживать отклонения в работе источников.

Наличие большого графического экрана позволило реализовать функцию инструментального контроля работы источников. Т.е. теперь оператор источника имеет возможность контролировать форму сигнала с акселерометра и другие параметры непосредственно в полевых условиях в ходе проведения работ.

В заключении хотелось бы особо подчеркнуть, что предлагаемая система синхронизации, управления и контроля SGD-SP электромагнитных импульсных источников не является средством измерения для проверки параметров источника, а предназначена для качественной оценки эффективности работы электромагнитных импульсных источников в процессе проведения полевых геофизических исследований.

Литература

1. Анкушев В.В., Гурьев С.В., Резвов В.И. Компания «ГЕОСЕЙС» представляет новый импульсный источник возбуждения «Геотон». Приборы и системы разведочной геофизики, №01/2003 г., г. Саратов.
2. Смирнов В.П. Электромагнитные источники сейсмических колебаний ряда «Енисей СЭМ, КЭМ». Приборы и системы разведочной геофизики, №01/2003 г., г. Саратов.
3. Ивашин В.В., Иванников Н.А. Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования. Приборы и системы разведочной геофизики, №02/2005 г., г. Саратов.