

Использование источника «Геотон» при скважинных сейсмических исследованиях в Западной Сибири

Волков Г.В., Кузнецов В.И., Кокшаров В.З., Резвов В.И., ОАО «Тюменнефтегеофизика», г.Тюмень

В последние годы сформировалось и получило широкое применение новое направление в разведочной геофизике наземная невзрывная сейсморазведка, для которой в качестве сейсмического источника используются специальные устройства для возбуждения упругих колебаний [1,2,3,4].

Одним из таких устройств является "Геотон" — электромагнитный импульсный источник сейсмических колебаний (рис. 1) [5,6,7].



Рис. 1 Импульсный источник "Геотон"

Использование невзрывных импульсных источников обусловлено преимуществами, которыми они обладают по сравнению с взрывными. Практика работ показала, что проведение сейсморазведки с использованием невзрывных источников позволяет упростить полевые работы, снизить их стоимость и повысить безопасность за счет отказа от использования взрывчатых веществ, исключить или свести к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде [1,4]. В то же время необходимо отметить, что в отличие от вибрационных источников импульсные источники характеризуются малыми габаритами, низкой стоимостью и надёжностью работы при отрицательных температурах. Наряду с этим невзрывной сейсморазведке свойствен ряд особенностей, вытекающих из специфики возбуждения колебаний, в общем случае усложняющих методику и технику проведения полевых работ и требующих применения дополнительного оборудования и методических приемов при регистрации колебаний, а также возможно специальных процедур при обработке материалов.

Импульсные источники "Геотон" эксплуатируется в ОАО "Тюменнефтегеофизика" начиная с февраля 2002 г. и используются для проведения сейсморазведочных работ по методике вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Современная скважинная сейсморазведка обеспечивает решение многих задач при поисково-разведочных работах на нефть и газ. По данным ВСП осуществляется обоснование скоростной модели среды, идентификация вскрываемых геологических разрезов и сейсмических данных, расшифровка характера регистрируемого при наземных наблюдениях

волнового поля, детализация строения околоскважинного пространства, прогнозирование геолого-геофизического разреза в околоскважинном пространстве [8,9].

В течение 2002 года партией ВСП ОАО "Тюменнефтегеофизика" в результате проведенных опытно-методических и тестовых производственных работ произведен запуск источников и проведена оценка их пригодности для выполнения сейсморазведочных работ. "Геотон" прошел полную стандартизацию, получены "Сертификат соответствия ГОСТ Р 15193-2002" (ГОСТ Р 15193-2002) и "Свидетельство на полезную модель № 23688 от 27.06.2002".

Принцип работы источника "Геотон" основан на силовом взаимодействии электромагнитных полей, вызванных протеканием токов в обмотках (катушках) электромагнитных преобразователей. В рабочем положении опорная плита прижимается к грунту массой преобразователя. Происходит разряд емкостных накопителей энергии через обмотки якоря и реактора преобразователя. В результате взаимодействия электромагнитных полей обмоток возникает импульс механической силы, приводящий в действие рабочую плиту. Под действием кратковременных нагрузок точки среды выводятся из положения равновесия и начинают совершать собственные колебания.

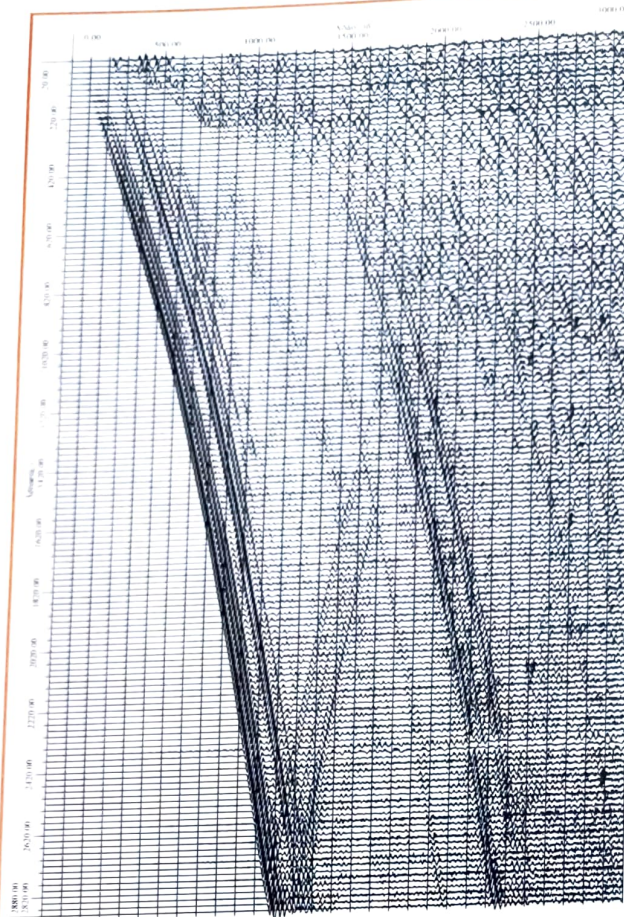
К основным достоинствам предлагаемого способа возбуждения сейсмических колебаний можно отнести расширение методических возможностей полевых работ за счет управления процессом возбуждения колебаний, а также использование эффективных схем группирования источников (рис. 2). В зависимости от поставленных задач, условий возбуждения, а также для обеспечения требуемой мощности воздействия во время работы источники "Геотон" собираются в группы.



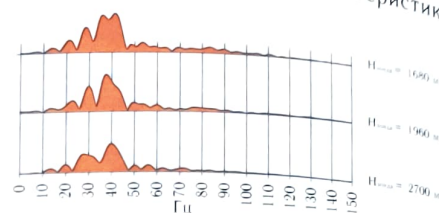
Рис. 2 Группа импульсных источников "Геотон"

К настоящему времени накоплен достаточно большой объем сейсмических материалов, полученных по методике ВСП с использованием источников "Геотон". По сейсмическому эффекту используемые импульсные источники близки к взрывам, и, как показал опыт их применения в

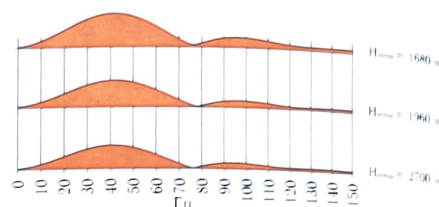
ИСТОЧНИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Амплитудно-частотные характеристики



Амплитудные спектры прямой падающей волны в интервале 200 мс от первых вступлений



Амплитудные спектры прямой падающей волны в интервале 30 мс от первых вступлений

Z- компонента
удаление ПВ - 47 м
источник возбуждения - "Геотон"
Западная Сибирь

Рис. 3 Исходное волновое поле ВСП. АЧХ падающей продольной волны. Западная Сибирь, 2002 г.

различных сейсмогеологических условиях, обладают высокой надежностью, стабильностью условий возбуждения при большом количестве воздействий и существенно сокращают время на производство сейсморазведочных работ.

На рис. 3 и 4 приводятся исходные волновые поля данных ВСП, отработанных с помощью источников "Геотон". На рис. 3 представлено исходное волновое поле по z-компоненте с пункта взрыва (ПВ), расположенного на расстоянии 47 м от устья скважины, а также амплитудные спектры прямой падающей волны в интервалах 200 и 30 мс от первых вступлений. На рис. 4 приведены сейсмограммы z- и R- компонент с ПВ, расположенного на удалении 177 м. В первом случае обработка ВСП выполнялась группированием 4 модулей источника "Геотон" и с 5 накоплениями, во втором группа из 7 модулей и также с 5 накоплениями.

Для регистрации сейсмического сигнала использована телеметрическая модульная цифровая аппаратура для скважинной сейсморазведки: сейсморазведочная станция АМЦ-3-48 и трехприборный зонд АСПУ-3-48, производства АО НПП "ВНИИГИС" (г. Октябрьский, респ. Башкортостан). Точки наблюдения расположены равномерно по стволу исследуемой скважины с шагом 20 метров. Синхронизация возбуждения и регистрация сигналов "отметки момента" и "вертикального времени" осуществляется системой SGS-S, производства НПК "Сибгеосейс" (г. Новосибирск). По волновым полям, представленным на рисунках, выполнена динамическая коррекция за

геометрическое расхождение. На сейсмограммах представлены продольные Р и поперечные S, а также обменные PS волны, как проходящие, так и отраженные.

Сейсмограмма R-компоненты, изображенная на рисунке 4, представляет собой результат ориентации сейсмических трасс в пространстве из начальной системы координат датчиков в систему координат PRT и получена путем анализа вектора смещения прямой продольной волны: Р в направлении прихода прямой продольной волны из источника (главный вектор для главного собственного значения), R перпендикулярно Р в плоскости, содержащей ПВ и пункт приема (ПП), Т - третье направление в правосторонней ортогональной системе.

Как видно из рисунков 3 и 4, волновое поле стабильно, то есть наблюдается хорошая повторяемость регистрируемых колебаний от воздействия к воздействию. Прямая продольная волна отчетливо видна в первых вступлениях в виде импульса длительностью 25-30 мс. Амплитудная характеристика спектра с глубиной меняется незначительно. Интервал частот амплитудного спектра составляет 12-90 Гц. Соотношение сигнал/помеха в первых вступлениях практически везде больше 20. Волны-спутники прямой продольной волны видны на исходных сейсмограммах в виде низкочастотного сигнала (два-три периода общей длительностью до 250 мс), имеющего сложный многомодальный спектр (рис. 3).

Перед проведением производственных сейсморазведочных работ по методике ВСП, на



ИСТОЧНИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

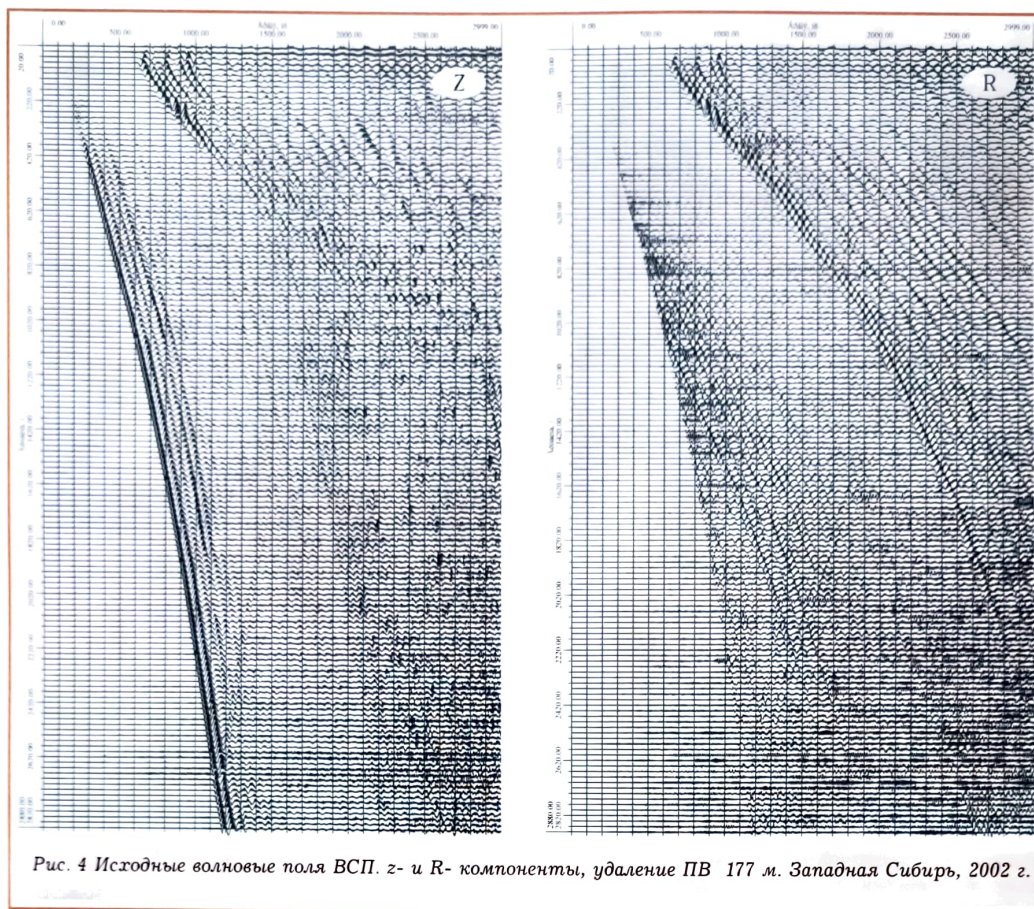


Рис. 4 Исходные волновые поля ВСП. z- и R- компоненты, удаление ПВ 177 м. Западная Сибирь, 2002 г.

каждой скважине выполняется достаточно большой объем опытных работ по выбору условий возбуждения. Но уже сейчас для полевых работ с источником "Геотон" сложился некоторый стандарт. Количество модулей при группировании обычно варьируется от 3 до 7, а количество синфазных накоплений может изменяться от 5 до 9. На рис. 5, 6 и 7 представлены результаты проведенных опытно-методических работ это сейсмические трассы, зарегистрированные зондом ВСП, отображаемые во временном интервале 700-1000 мс.

На рис. 5 и 6 приводится сопоставление сейсмических данных, зарегистрированных на глубинах 1500-1720 метров для различных условий возбуждения. Во-первых, это вариации в количестве накоплений: от одного до одиннадцати накоплений (рис. 5). Во-вторых, это изменения в количестве модулей при группировании источников "Геотон": 2, 4, 6 и 8 модулей (рис. 6). Визуальный анализ сейсмического материала позволяет сделать заключение о том, что более существенное влияние на энергетическую составляющую упругих колебаний, а также на отношение сигнал/шум, оказывает не количество накоплений, а количество модулей при группировании (рис. 7).

Представленные результаты позволяют сделать достаточно важные выводы о работоспособности и корректном использовании "Геотона" в качестве сейсмического источника упругих колебаний. Прежде всего, следует обратить внимание на сопоставление одноименных каналов записи сигнала от источника, состоящего из группы 4 модулей, для различного количества синфазных накоплений (рис. 7). По оценке когерентности импульса (выполнен расчет функции взаимной корреляции) установлено, что временные подвижки не превышают 0,1 мс.

Данное обстоятельство свидетельствует: во-первых, об идентичности (повторяемости) работы

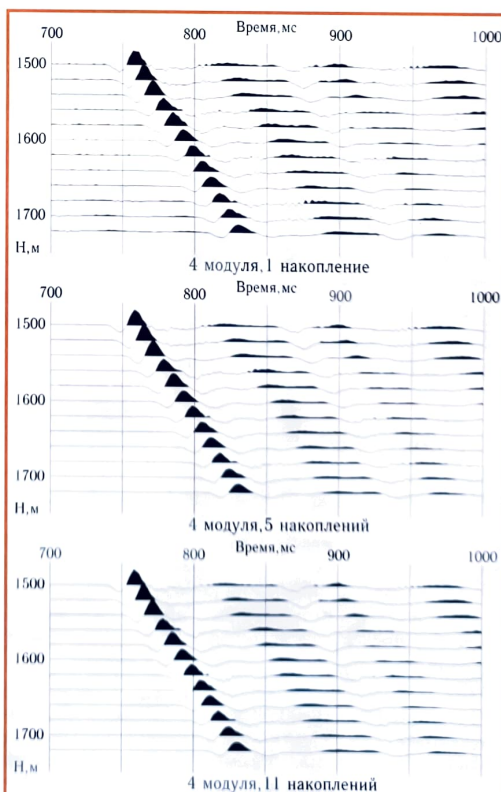
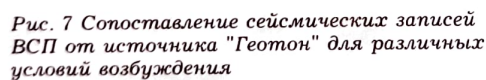


Рис. 5 Фрагмент исходного волнового поля ВСП. Источник "Геотон" 4 модуля, количество накоплений: 1,5,11. Удаление ПВ 185 м.

При увеличении числа модулей в группе (рис. 7) на сейсмических записях наблюдается повышение разрешенности и интенсивности сигнала, что косвенно указывает на синхронность работы модулей в группах. Для обоих экспериментов на спектральных характеристи-



Достаточно важным при работе с импульсным сейсмическим источником является выбор параметров возбуждения. Очевидно, что критерием успешности проведения сейсморазведочных работ является возможность решения поставленных геологических задач. Таким образом, необходимо провести оценки характеристик излучаемых колебаний для определения оптимальной конфигурации источника и достаточного количества синфазных накоплений. Следует отметить, что приповерхностные условия возбуждения в настоящей работе не рассматриваются. Но изучению этого

Графики, представленные на рисунке 8, отображают сравнительные энергетические характеристики зарегистрированных зондом ВСП сейсмических колебаний, излучаемых источником "Геотон" с разным количеством накоплений и модулей в группах. На первой диаграмме представлена сравнительная оценка энергии регистрируемых колебаний для различных условий возбуждения. Энергия сигнала считается в окне 100 мс от первых вступлений прихода прямой продольной волны. Шкала энергии приводится на диаграмме в долях единицы, где единице соответствует максимальное значение энергии из выборки. Зависимость энергии от различных значений количества накоплений (черная линия) служит еще одним свидетельством идентичности и синхронности работы источника "Геотон" (рис. 8а). Наблюдается незначительные вариации в величине закачиваемой энергии с изменением количества сифазных накоплений. Второй график на верхней диаграмме (розовая линия) свидетельствует о линейном увеличении энергии возбуждаемых колебаний при увеличении количества модулей в группе до 6 штук. Дальнейшее поведение кривой указывает на насыщение закачиваемой энергии, и в некоторой степени свидетельствует об

На второй диаграмме (рис. 8б) представлены графики, отражающие зависимость энергетического отношения сигнал/шум от различных условий возбуждения: числа модулей в группе (розовая линия) и количества накоплений (черная линия). Первый график отражает данные, полученные с 5 синфазными накоплениями, второй — данные для источника из 4 модулей в группе. Отношения сигнал/шум определялось в окне 100 мс от первых вступлений прямой волны и рассчитывались на основе совместной обработки функций авто- и взаимной корреляции и спектров сейсмических записей. Наблюдается линейный рост отношения сигнал/шум с увеличением размера группы источников до 6 модулей и с увеличением количества накоплений до 11. Дальнейшее поведение графиков указывает на стабилизацию характеристик



ИСТОЧНИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

При отработке профиля ОГТ в качестве сейсмического источника использовались взрывы в скважинах, а данные ВСП были получены с применением импульсного источника "Геотон". При сопоставлении временных разрезов, полученных по данным наземной сейсморазведки и ВСП наблюдается хорошая корреляция отражений от основных сейсмических горизонтов (Г, М1, М, Б, А). В некоторых интервалах времени (например, отражения от юрских отложений в интервале 2000-2200 мс) разрешенность сейсмических отражений на разрезе преобразования ВСП-ОГТ гораздо выше, по сравнению с разрезом ОГТ. Таким образом, можно говорить о том, что применение импульсного источника "Геотон" обеспечивает получение информации, полностью сопоставимой по качеству с материалами взрывной сейсморазведки, что в совокупности с преимуществами методики ВСП позволяет решать достаточно тонкие геологические задачи.

Опыт работ с импульсными источниками "Геотон" показывает, что их можно с успехом использовать при проведении 2-D и 3-D сейсморазведки, изучении зоны ВЧР и работах ВСП. Источник "Геотон" достаточно стабилен по характеристикам возбуждаемого импульса. Мощность его воздействия позволяет регистрировать отражения от глубоких (более 3 км) горизонтов, а видимая частота (40-50 Гц) получать разрешенные разрезы. Таким образом, использование источников "Геотон" при проведении сейсморазведочных работ дает возможность проводить уверенное изучение целевых объектов нижней юры в условиях Западной Сибири. Не следует забывать, что успешное применение источников "Геотон" и получение положительных геологических результатов возможны лишь в тех случаях, когда методика работ, аппаратура и способы обработки материалов выбраны с учетом особенностей излучателей, заключающихся, прежде всего, в их ограниченной энергии и в приложении нагрузок к поверхности грунта. Эти факторы должны учитываться при планировании и проведении сейсморазведочных работ с импульсными источниками упругих колебаний "Геотон".

Литература

1. Бахарев Н. П., Ивашин В. В., Милорадов И. А. Анализ работы невзрывных импульсных источников сейсмических колебаний. Прикладная геофизика, вып. 97, М., Недра, 1980
2. Гонтовой И. З., Роман В. И. Электродинамические источники продольных и поперечных сейсмических волн. Разведочная геофизика, Обзор ВИЗМС, 1986
3. Невзрывные источники сейсмических колебаний. Справочник/Под ред. М. Б. Шнеерсона, М., Недра, 1992
4. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки/Под редакцией М. Б. Шнеерсона, М., ОАО "Издательство "Недра", 1998
5. А. С. № 1261466 (СССР). (Ивашин В. В., Чуркин И. М., Милорадов И. А.)
6. Патент РФ № 2171478 (Детков В. А., Ивашин В. В., Певчев В. П.). Бюл. № 21, 2001
7. Свидетельство на полезную модель №23688 (Иванников Н. А., Резвов В. В.), 2002
8. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М., Недра, 1982
9. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование: опыт и результаты. М., Наука, 1994

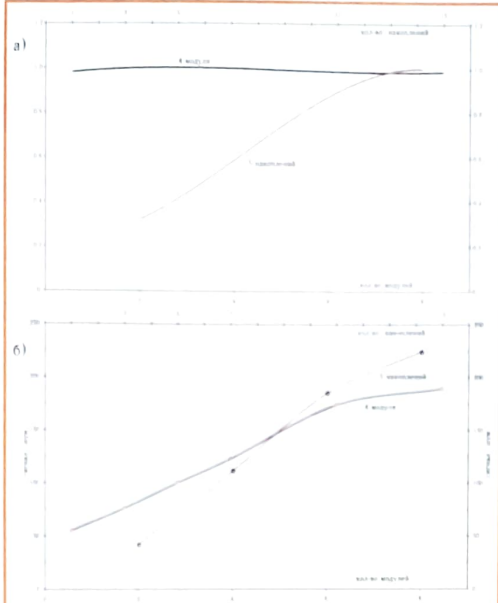


Рис. 8 Относительные энергетические характеристики импульсного источника "Геотон": а) сравнительная оценка энергии регистрируемых упругих колебаний; б) зависимость соотношения сигнал/шум от различных условий возбуждения

регистрируемых сейсмических колебаний и тоже свидетельствует о достижении оптимальных параметров сейсмического источника "Геотон".

В качестве демонстрации возможностей методики ВСП, а также для подтверждения применимости и работоспособности "Геотона", в настоящей статье предоставлен результат обработки данных ВСП, полученных на одном из месторождений Западной Сибири. На рисунке 9 приведено сопоставление результата преобразования ВСП-ОГТ с временным разрезом ОГТ (общая глубинная точка). Положение скважины соответствует номеру ОГТ 9575. Преобразование ВСП-ОГТ представляет собой миграцию Кирхгофа без суммирования, тем самым оно осуществляет преобразование поля отраженных волн из системы координат "глубина время" в координаты "глубина расстояние" и "время расстояние". Основной задачей процедуры "преобразования ВСП-ОГТ" является получение изображения околоскважинного пространства по направлению на положение источника. В рассматриваемом случае удаление источника от устья скважины составляет 370 м, таким образом, протяженность полученного временного разреза равна 175 метрам.

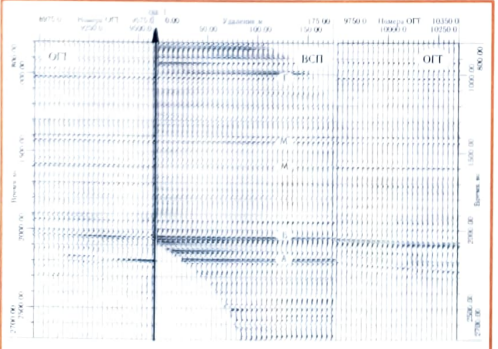


Рис. 9 Сопоставление временного разреза ОГТ с разрезом преобразования ВСП-ОГТ. Западная Сибирь, 2002 г.