

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

04/2004

ТЕМА НОМЕРА:

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОФИЗИКЕ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Телеметрическая система «РОСА»
Оборудование для бурения скважин

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА



Сейсмические
электромагнитные
источники «ЕНИСЕЙ»
для любых
условий

- САМЫЙ
СЭМ
- КОЛЕСНЫЙ
КЭМ
- ВОДНЫЙ
ВЭМ

Наши партнеры
всегда в плюсе!

ОАО «ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА»
666160, Красноярский край, г. Енисейск
ул. Мира, 64
тел.: 8(39163) 2-21-49
тел./факс: 8(39163) 2-21-50
E-mail: postmaster@eg.krasnoyarsk.ru
eg@mail333.com

■ Колонка редактора

И снова об инновациях
Турлов П.А.

04

● Тема номера: Инновационные технологии

■ Приборы и системы

- Применение обращенных электродинамических сейсмоприемников в качестве вибраторов
Гик Л.Д. 05
- Измерение предельно малых низкочастотных сейсмических сигналов
Гик Л.Д. 10
- Вперед в будущее или назад к истокам? Новейшее оборудование компании INPUT/OUTPUT, INC делает вопрос о применении группирования сейсмоприемников дискуссионным
Жгенти С.А. 13
- Электродинамический трехкомпонентный сейсмоприемник ускорений
Рыжов А.В. 20
- Возможности сейсморазведки на основе группирования источников "Геотон"
Анкушев В.В., Резвов В.И., Гурьев С.В. 28
- Буксируемые косы для исследования ВЧР
Козловский Н.К., Качагин А.А., Воронцов И.В. 31

■ Геофизические технологии

- Интерференционные системы регистрации упругих колебаний
Хараз И.И. 17

■ Приборы и системы

- Распределенная телеметрическая система регистрации сейсмических данных в реальном времени
Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. 34

■ Геофизические технологии

- Прогнозирование залежей УВ по результатам сейсмического мониторинга на примере Ван-Еганского месторождения (мезозойские отложения)
Кирилов С.И., Невидимова А.Ф., Копунов С.Э., Хортов А.В. 37
- Возможности выявления дополнительных ресурсов в традиционных нефтегазовых провинциях
Кулаков В.И., Бродский А.Я., Пыхалов В.В. 39
- Применение интерпретационного подхода для коррекции средне- и длинно-периодной составляющих статики в условиях развития многолетне мерзлых пород
Королев Е.К., Королев А.Е., Хайретдинова Е.М. 42

■ Обмен опытом

- Сопоставление источников сейсмического волнового поля по тротиловому эквиваленту
Колосов Б.М. 46

■ Оборудование

- Оборудование для бурения скважин при сейсморазведке
Кардыш В.Г. 49

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор:
Турлов П.А.

Выпускающий редактор:
Пимштейн И.Г.

Менеджер проекта:
Мокроусова Е.И.

Ответственный секретарь:
Слонова Е.Г.

Дизайн, верстка:
Мокроусов Д.В.

Адрес редакции:
Россия, 410019, г. Саратов,
ул. Крайняя 129

E-mail: skbsp@san.ru

Тел. (8-452) 64-14-32
Факс (8-452) 64-14-52

Тираж отпечатан
в типографии "КРОСС"
т. (8452) 223-552, 223-881

Тираж: 500 экз

Издание зарегистрировано в
Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций за номером
ПИ №77-7906 от 27 апреля 2001г.

От редколлегии:
Ответственность за подбор и изло-
жение фактов в статьях несут
авторы. Редколлегия может
публиковать статьи, не разделяя
точки зрения авторов.



И снова об инновациях...

Турлов П.А., СО ЕАГО, г. Саратов

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

В этом, последнем в уходящем году, номере журнала мы вновь обратились к "Инновационным технологиям в геофизике", статьи о которых преобладали в июньском (№ 2/2004) выпуске.

Такую тему номера предложил профессор О.А.Потапов, который и стал научным редактором этого номера. Интерес читателей к теме мы ощутили сразу по телефонным звонкам, по просьбам выслать "лишний экземплярчик". Основанием нового обращения к этой интересной читателям теме послужило наличие в редакционном портфеле ряда статей, присланных нам при подготовке июньского выпуска и не вошедших в него только по причине ограниченности объема журнала. Это статьи Л.Д.Гика (Новосибирский институт геофизики СО РАН), В.В.Анкушева, В.И.Резцова (ООО "Геосейс", Москва) и С.В.Гурьева (ОАО "Тюменнефтегеофизика"), А.В.Рыжова (ВНИИ Геофизика, Москва), Н.К.Козловского, А.А.Кацагина (ООО "Ойю-Гео Импульс Интернешнл") и И.В.Воронцова (ОАО "Тюменнефтегеофизика"), С.А.Жгенти ("ИНГЕО", Москва).

Естественно, что и другие постоянные рубрики журнала будут заполнены интересными для читателей материалами.

Хочу напомнить, что в мартовском номере журнала мы собираемся разместить материалы по теме "Технологии и технические средства для геофизических исследований на шельфе и мелководье". Призываю геофизиков-разведчиков и приборостроителей не упустить удобный момент, чтобы высказываться по всем аспектам этого животрепещущего вопроса.

Редакция также рассчитывает на читательскую активность в вопросах подписки на 2005 год. Мы ждем письменных (факс) и телефонных заявок на подписку на журнал "Приборы и системы разведочной геофизики" на 2005 год.

Конечно же мы с величайшим удовольствием поздравляем наших читателей и авторов с наступающим Новым 2005 годом!

Пусть этот год будет годом новых успешных свершений в вашей профессиональной деятельности!

*Здоровья,
удачи,
счастья!*

Главный редактор журнала

П.А.Турлов

НАШИ ПАРТНЕРЫ



СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



ОАО «Саратовнефтегеофизика»



ООО "Специальные
геофизические системы"



ГУДП "Астраханская
геофизическая экспедиция"

Применение обращенных электродинамических сейсмоприемников в качестве вибраторов

Гик Л.Д., институт геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Соображения технологичности, простоты изготовления и транспортабельности в отдельных случаях делают целесообразным создание сейсмических вибраторов на принципе "обращения" электродинамических сейсмоприемников, т.е. включения последних в режиме генерации механических колебаний. Единичный сейсмоприемник, обладающий массой около 0,1 кг, способен генерировать силы с амплитудой порядка одного кН. Группирование нескольких сейсмоприемников позволяет увеличить генерируемую силу пропорционально числу группированных элементов, а применение узкой резонансно настроенной связи с зондируемым объектом позволяет дополнительно увеличить силу пропорционально добротности резонатора. Оба эти фактора дают резерв увеличения силы в десятки и даже сотни раз. Добавление накопления сигнала на стадии приема позволяет достигнуть дальности зондирования в десятки километров.

Вибратор на основе единичного сейсмоприемника. Для проведения некоторых сейсмических экспериментов в качестве возбудителей зондирующих сигналов требуются силовые источники сравнительно небольшой мощности. Такая задача может быть решена путем "обращения" серийных электродинамических сейсмоприемников. Под обращением понимается включение сейсмоприемника генератором, т.е. приложением к его рабочей катушке электрического тока, в результате чего он превращается в источник механической силы.

Подобным путем реализуются важнейшие качества серийных электродинамических приемников - высокая чувствительность $s = Bl = U_{\text{из}}/u' = F/I$, высокая стабильность и небольшая масса. Здесь B - магнитная индукция, l - суммарная длина провода в зазоре магнитной системы, $U_{\text{из}}$ - выходной электрический сигнал, u' - колебательная скорость, F - генерируемая сила и I - электрический ток. Чувствительность большинства серийных сейсмоприемников имеет величину $s_0 \sim 30$ Вс/м.

Существуют две причины, ограничивающие величину генерируемой силы. Это, во-первых, допустимая мощность, рассеиваемая на катушке ($P_{\text{кат}}$), и, во-вторых, допустимое перемещение этой катушки в зазоре магнитной системы ($\Delta_{\text{кат}}$). Допустимая электрическая мощность зависит от поверхности катушки и условий отвода тепла. В реальных условиях эту мощность приходится ограничивать величиной не более $P_{\text{кат}} < 5-10$ Вт, что означает ограничение тока величиной $I_{\text{кат}} < \sqrt{(P_{\text{кат}}/R_{\text{кат}})} \sim 0,22-0,33$ А. (Здесь $R_{\text{кат}}$ - электрическое сопротивление катушки, составляющее приблизительно $R_{\text{кат}} \sim 100$ Ом). Поэтому максимальная величина возбуждаемой силы может быть не более $F_{\text{кат}} \sim 6-10$ Н (0,6-1 кг).

Вторая ограничивающая причина - длина зазора магнитной системы определяется конструкцией сейсмоприемника и составляет обычно $\Delta_{\text{кат, макс}} = 1-3$ мм. Это заставляет ограничивать и величину генерируемой силы. Действительно, колебательное смещение катушки u , вызванное приложенной к ней силой $F = s_0 I$, определяется соотношением [1]

$$u = F / (w + i h \omega + (\omega^2 m)) \quad (1)$$

Здесь $w + i h \omega + (\omega^2 m)$ - динамическая жесткость колебательной системы, w - механическая жесткость пружины, h - коэффициент демпфирования, m - масса, ω - круговая частота $\omega = \sqrt{-1}$. Подставляя в (1) неравенство $u < \Delta_{\text{кат}}$, после простых преобразований получаем:

$$F_{\text{кат}} < m \Delta_{\text{кат}} \omega_{\text{рез}}^2 / (1 - (\omega / \omega_{\text{рез}})^2 - i Q (\omega / \omega_{\text{рез}})) \quad (2)$$

Здесь $\omega_{\text{рез}} = \sqrt{w/m}$ - частота резонанса, а $Q = h^{-1} \sqrt{w_0/m_0}$ - добротность резонатора, образуемого пружиной w и массой m .

Корпус сейсмоприемника превращается в источник силы, приложенной к удерживающей его платформе, начиная от частоты резонанса $f_{\text{рез}} = \omega_{\text{рез}}/2\pi$ и выше. В этой области частот допустимая величина генерируемой силы оказывается функцией частоты:

$$F_{\text{кат}} \leq m_{\text{кат}} \Delta_{\text{кат}} \omega^2 \quad (3)$$

Поэтому у сейсморазведочных приемников при реализации максимально возможной силы $F_{\text{кат}} = 10$ Н и при массе инерционного элемента $m_{\text{кат}} = 0,02$ кг частота генерируемого сигнала должна быть не менее величины $f > f_{\text{мин}} = (1/2\pi) \sqrt{(F_{\text{кат}}/m_{\text{кат}} \Delta_{\text{кат}})} = 65$ Гц, у сейсмологических (при массе инерционного элемента $m_{\text{кат}} \sim 1$ кг) не менее $f > f_{\text{мин}} = 9,1$ Гц. Если возникает необходимость возбуждать колебания с частотой меньше величины $f_{\text{мин}}$, то приходится ограничивать величину возбуждающего тока $I < I_{\text{кат}}$ для того, чтобы избежать ограничения движения катушки в пределах зазора, расплачиваясь за это уменьшением генерируемой силы.

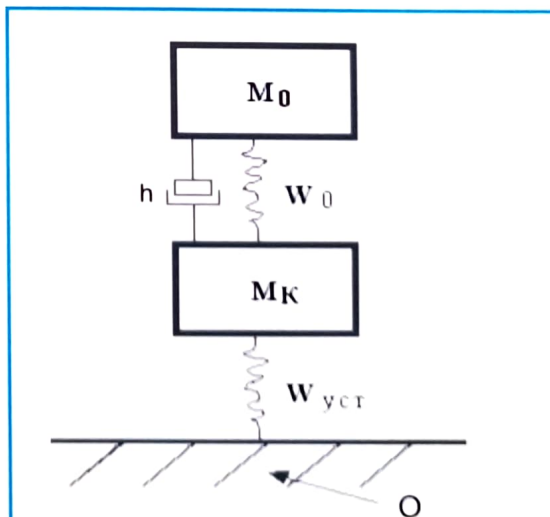


Рис. 1 Конструктивная схема сейсмоприемника, учитывающая его упругую связь с объектом: m_0 - масса инерционного элемента (катушки), w_0 - жесткость пружины, соединяющую катушку с корпусом, m_k - масса корпуса, $w_{\text{уст}}$ - жесткость контактного пространства сейсмоприемника и объекта, h - демпфер

ИННОВАЦИИ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

$$F[f < f_{\min}] = F_{\max} \cdot (f/f_{\min})^2.$$

Частотный диапазон генерируемых колебаний имеет равномерную характеристику в пределах начиная от собственной частоты сейсмоприемника, что фактически следует из (1), и кончая частотой установочного резонанса его связи с объектом. Покажем это. Обратимся к эквивалентной конструктивной схеме сейсмоприемника рис. 1, установленного на геофизическом объекте (роль которого чаще всего выполняет поверхность почвы). Здесь m_0 и w_0 - масса катушки и пружина, соединяющая ее с корпусом, m_k и $w_{\text{св}}$ - полная масса сейсмоприемника и распределенная упругость почвы. Рассмотрение рисунка показывает, что к поверхности объекта помимо электромагнитной силы F_1 фактически оказываются приложенными еще сила растяжения пружины $F_w = wu$ и сила вязкого сопротивления демпфера $F_b = -hu'$. Здесь u и u' соответственно колебательное смещение и колебательная скорость движения катушки.

На частотах меньших собственной частоты сейсмоприемника $f \leq f_{\text{рес}} = (1/2\pi)\sqrt{w_0/m_0}$ движением корпуса (на эквивалентной схеме - движением массы m_k) можно пренебречь (по сравнению с движением катушки u). Поэтому сила F_k , приложенная к корпусу, а значит и к поверхности геофизического объекта, оказывается равной: $F_k = F_1 - F_w - F_b$. После простых преобразований получаем:

$$F_k = F_1(f/f_{\text{рес}})^2 / (1 - (f/f_{\text{рес}})^2 + iQ^{-1}(f/f_{\text{рес}})) \quad (4)$$

Из (4) видно, что при $Q \gg 1$ (что практически всегда имеет место у электродинамических сейсмоприемников) частотная характеристика "сейсмоприемника-вибратора" фактически имеет две области - равномерную $F_k/F_1 \approx 1$ при $f \geq f_{\text{рес}}$ и квадратично падающую $F_k/F_1 \approx (f/f_{\text{рес}})^2$ при $f \leq f_{\text{рес}}$. Таким образом, сейсмоприемник, используемый в качестве вибратора, необходимо выбирать так, чтобы его собственная частота $f_{\text{рес}}$ была ниже требуемого частотного диапазона генерируемых колебаний - от 10 до 30 Гц для сейморазведочных и на один - два порядка ниже для сейсмологических сейсмоприемников.

В области верхних частот ограничение частотного диапазона наступает вследствие резонанса, образуемого массой сейсмоприемника m_k в паре с упругостью приконтактной области поверхности геофизического объекта $w_{\text{св}}$. Здесь можно ввести термин "частоты установочного резонанса" $f_{\text{св}} = (1/2\pi)\sqrt{w_{\text{св}}/m_k}$. Расчет этой частоты связан с трудностями определения распределенной упругости $w_{\text{св}}$. Для объекта, представляющего собой однородную геоакустическую среду в [3] создан приближенный метод расчета этой величины $w_{\text{св}} = 8\gamma(1-\gamma^2)(V_s)^2\rho g$. Здесь $\gamma = V_s/V_p$ - отношение скоростей поперечной и продольной волн, ρ - плотность среды, а g - радиус поверхности контакта сейсмоприемника с почвой. Данный метод приводит к приближенному соотношению $f_{\text{св}} \sim 2,52 V_s$. В частности, для зоны малых скоростей (при $V_s \sim 50$ м/с) получаем: $f_{\text{св}} \sim 126$ Гц.

Частота установочного резонанса применительно к низкоскоростным почвам верхней части сейсмического разреза характеризуется величиной порядка первых сотен Гц, а применительно к высокоскоростным скальным горным породам - порядка нескольких тысяч Гц. Нами опробованы

некоторые пути повышения частоты установочного резонанса. Это - увеличение поверхности контакта вибратора с почвой, повышение жесткости поверхности почвы путем пропитки ее клеевыми составами, а также некоторые другие. Использование этих мер применительно к рыхлым низкоскоростным средам позволяет поднять частоту установочного резонанса в 1,5-3 раза.

Пути увеличения генерируемой силы. Обсудим возможные пути увеличения генерируемой силы. Первый очевидный путь - это группирование, т.е. жесткое механическое соединение некоторого количества (N) индивидуальных сейсмоприемников. Легко убедиться, что на частотах ниже частоты установочного резонанса $f < f_{\text{св}}$ генерируемая сила в этом случае возрастает в N раз: $F_N = N \cdot F_1$. Естественно, что данный путь приводит к пропорциональному увеличению, как массы вибратора, так и мощности питающего электрического генератора. Кроме того, увеличение массы вибратора приводит к снижению частоты установочного резонанса $f_{\text{св},N} = f_{\text{св},1}/\sqrt{N}$. По-видимому, разумное число сейсмоприемников в группе может составить величину $N=20-300$. Данным путем принципиально возможно построить вибратор, обладающий способностью генерировать силу величиной в несколько десятков килограмм. Увеличение мощности электрического генератора не влечет возникновения проблем. Серийные звуковые генераторы обычно имеют мощность порядка 5-10 Вт. Можно также применить различные усилители мощности, серийно выпускаемые промышленностью (в том числе и для бытовых электроакустических целей), обладающие выходной мощностью до 100 Вт и даже более. Возможен также легко реализуемый путь построения генераторов высокой мощности на принципе коммутаторов батарей постоянного тока с помощью бесконтактных ключей, например тиристорных. Прямоугольная форма выходного сигнала, образующаяся в этом случае, не мешает достижению конечного результата. Этот путь позволяет при минимальных затратах создать силовые возбудители значительной мощности.

Рассмотрим второй метод увеличения генерируемой силы вибратора - путем резонансного его соединения с зондируемым

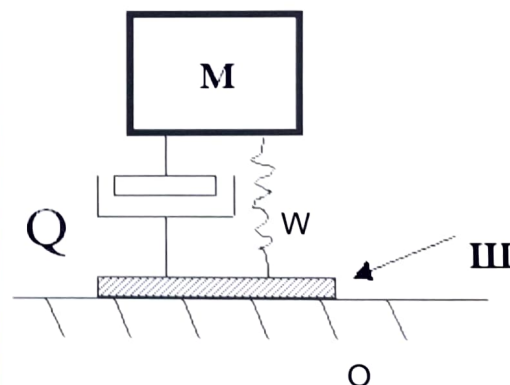


Рис. 2 Резонансная связь сейсмоприемника с объектом:

m - масса сейсмоприемника,
 w - пружина упругой связи сейсмоприемника с объектом,
 Q - демпфер, Ш - жесткий штамп, O - объект

объектом. Физической основой резонансного увеличения силы является последовательное (во времени) накопление энергии гармонических колебаний с каждым последующим циклом ("накачка"). Обратимся к рис. 2. Здесь показан обращенный сейсмоприемник М, штамп "П", жестко связанный с поверхностью объекта, пружина w , упруго соединяющая сейсмоприемник со штампом, и поршень Q, учитывающий демпфирующее действие элементов конструкции. При возбуждении гармонической силы $F = s_w \cdot I \sin(\omega t)$ масса сейсмоприемника m приходит в движение с колебательным смещением, определяемым выражением (1). На частоте резонанса $\omega = \omega_{m,3} = \sqrt{w/m}$ выражение колебательного смещения приобретает вид:

$$|u| = F/(h\omega) = (F/w) \cdot (\sqrt{w/m})/h = |u_{m,30}| \cdot Q \quad (5)$$

Здесь $|u_{m,30}|$ - колебательное смещение, возбуждаемое вибратором в дорезонансной полосе частот. Для механических резонаторов величина добротности обычно составляет несколько десятков ($Q \rightarrow 50$). Именно во столько раз произойдет усиление колебаний, генерируемых резонансным вибратором. Из этого следует, что группирование в сочетании с резонансным усилением колебаний позволяет создать вибратор, способный возбудить силу величиной в сотни килограмм.

Чтобы получить возможность возбудить импульсный сигнал, используемый в большинстве сейсморазведочных методов, необходимо осуществить вариацию частоты излучаемого сигнала в диапазоне от f_1 до $f_2 = f_1 + \Delta f$. Здесь $\Delta f = 1/\tau$, а τ - требуемая длительность зондирующего импульса. Для реализации такой задачи следует осуществить вариацию параметров резонатора - жесткости пружины w или массы m .

Как показал опыт нашей работы, обе эти задачи разрешимы, хотя реализация их требует некоторых аппаратных усложнений. Простым способом уменьшения жесткости пружины в узком диапазоне - порядка 10-20 % является ее нагрев. Для реализации более широкого диапазона потребовалось изменение длины пружины (или изменения количества витков винтовой пружины). Опыт показал, что оба эти пути технически разрешимы, хотя и требуют конструктивного усложнения аппаратуры.

Вариация вибрирующей массы m технически решалась нами следующим образом. С корпусом сейсмоприемника жестко соединялся наполненный жидкостью сифон. Вариация массы выполнялась вытеканием жидкости из сифона.

Некоторые применения. Использование перечисленных выше путей позволяет применять обращенные сейсмоприемники не только в задачах генерации слабых сигналов, но и в тех областях геоакустики, в которых обычно применяются вибраторы средней и даже большой мощности. Укажем два из таких применений: нагрузочные испытания геоакустических сред и зондирование протяженных геофизических объектов. В первом случае требуется возбуждение колебательных смещений, обладающих значительными динамическими напряжениями. Из изложенного выше следует, что в обычном режиме серийный сейсмоприемник, работающий в обращенном режиме, способен возбуждать

механическое напряжение $\sigma = F/S$, где S - поверхность его соприкосновения с объектом. Последнюю можно выполнить в виде концентратора небольшой площади $S \sim 0,1 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и даже менее. Поэтому при величине возбуждающей силы $F \sim 1 \text{ кГ}$ напряжение может превысить величину $\sigma = 1 \cdot 10^7 \text{ т/м}^2$, что примерно соответствует нагрузке, создаваемой вибратором средней мощности. Потенциальная возможность увеличения этого напряжения резонансным путем показывает практическую применимость такого метода, в особенности при проведении экспериментов в условиях лаборатории.

Чтобы оценить возможности работы обращенных сейсмоприемников в установках, предназначенных для зондирования геофизических объектов, воспользуемся соотношением, связывающим амплитуду колебательного смещения u и силу F , удаленную на расстояние L от точки приема [2]:

$$u_i = F/(4\pi\rho V^2 L) \quad (6)$$

Поглощением пока будем пренебрегать. В соответствии с (6) ограничением дальности приема сейсмического сигнала $L_{\max}$ является ослабление амплитуды волны u_i до уровня микросейсмического шума $u_{\text{сш}}$, т.е. $L(u_i \geq u_{\text{сш}})$. В сейсморазведке характеристики микросейсмического шума часто выражают величиной электрического сигнала $U_{\text{сш},3}$, возбуждаемого этим шумом в электродинамическом сейсмоприемнике. Такой сигнал пропорционален колебательной скорости микросейсмического шума $u'_{\text{сш}}$ и согласно данным практики при стандартной чувствительности электродинамического сейсмоприемника $s_p \sim 30 \text{ В/см/с}$ по порядку величины составляет $U_{\text{сш},3} = 2\pi u'_{\text{сш}} s_p \sim 2 \cdot 10^7 \text{ В}$. Поэтому предельная дальность зондирования $L_{\max}$ применительно к излучению гармонического сигнала может быть выражена условием $U_a(L) = 2\pi f u(L) s_p > U_{\text{сш},3}$. С учетом приведенных выше соотношений это составляет:

$$L_{\max} < (F/s_p)/(2\rho V^2 U_{\text{сш},3}) \quad (7)$$

Сделаем конкретные оценки применительно к задаче зондирования верхней части разреза ($\rho \sim 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $V_p = 300 \text{ м/с}$) единичным обращенным сейсмоприемником ($F_i = 10 \text{ Н}$) на частоте $f = 100 \text{ Гц}$. Подставляя в (7) значения указанных параметров, получаем $L_{\max}[f = 100 \text{ Гц}, V = 300 \text{ м/с}, \rho \sim 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3] \sim 300 \text{ м}$.

Необходимо учитывать, что при наличии поглощения, которое для плоской волны можно выразить экспоненциальным соотношением $u_i(L)/u_i(0) = \exp(-\pi L/Q\lambda)$, величина зондирующего сигнала по сравнению с (6) падает. Соответственно уменьшается и допустимая величина базы зондирования $L_{\max}$. Так, на удалениях $L > L_0 = \lambda Q/\pi$ зондирующий сигнал начинает падать очень резко. Поэтому при наличии поглощения реальное удаление ограничивается величиной L_0 . В данном случае при длине волны $\lambda = V/f = 3 \text{ м}$ и при низкой величине добротности геоакустической среды $Q_{\text{сш}} \sim 20$, соответствующей зоне малых скоростей это составляет $L_{\max}$. При решении инженерно-геологических задач такая дальность зондирования, по-видимому, может оказаться достаточной; в противном случае придется снижать длину волны зондирующего сигнала.

Однако и при зондировании протяженных



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

геолого-геофизических объектов применение обращенных сейсмоприемников в качестве источников также дает принципиальную возможность реализовать сейсмическое зондирование. Точные оценки максимально достижимых удалений L_{max} в этом случае связаны с некоторыми трудностями, т.к. форма траектории распространения зондирующего сигнала (в лучевом приближении) в соответствии с принципом "наименьшего времени" оказывается сложной. В соответствии с этим простоты оказываются и функции, связывающие зависимость глубины проникновения луча H , сейсмические скорости V и добротности зондируемой геологической среды Q с временем распространения волны t . Необходимые приближенные оценки можно выполнить, опираясь на эмпирические соотношения, известные по работам специалистов глубинного сейсмического зондирования: $H_{max} \sim L_{max}/10$, $Q_H [H > 2-3 \text{ км}] = (100-200) \sim 150$ и $V_H [H > 10 \text{ км}] \sim 10 \text{ км/с}$ ($\lambda_H [f \sim 5 \text{ Гц}] \sim 2 \text{ км}$). Учет этих соотношений показывает, что применение единичного сейсмоприемника на частоте $f \sim 5 \text{ Гц}$ в случае пренебрежения потерями на поглощение и потерями энергии волны в градиентной среде (идеального акустического согласования низкоскоростных слоев верхней части разреза с высокоскоростными погруженными слоями) допускает очень малую дальность зондирования $L_{max} \sim 0,5 \text{ м}$. Однако применение группирования порядка $N=20$ излучателей, использование резонансного эффекта при добротности порядка $Q_{res} \sim 30$, а также осуществление накопления принимаемого сигнала в течении времени $T_{нак} \sim 1$ часа в общей сложности позволяет увеличить эту дальность до величины $L_{max} = L_{max1} N Q_{res} \sqrt{(T_{нак}/T_1)} \sim 400 \text{ км}$. Что же касается дальности зондирования, ограничиваемой поглощением, то в этом случае ее величина составляет $L_0 = \lambda_p Q \sim 300 \text{ км}$. Две последние цифры как раз и показывают, что достижение дальности зондирования в несколько сотен километров при построении источников на принципе обращенных сейсмоприемников можно считать реальным.

Экспериментальные исследования. Эксперименты включали в себя следующие работы:

1. Изучение свойств серийных сейсмоприемников.
2. Определение достижимых силовых параметров этих сейсмоприемников в обращенном режиме.
3. Изучение возможностей увеличения силового воздействия за счет группирования и резонансного соединения вибраторов с почвой.
4. Исследование частотных характеристик "сейсмоприемников-вибраторов" и анализ путей их расширения.
5. Осуществление профильного зондирования в условиях рыхлых почв верхней части разреза.

Для оценки достижимых силовых возможностей сейсмоприемников необходимо выполнить измерение, по крайней мере, следующих их характеристик: чувствительности (электро-механического коэффициента) s_e , собственной (резонансной) частоты f_{res} и степени успокоения (или обратной ей величины - добротности Q) и частоты установочного резонанса $f_{уст}$. Анализ возможных путей решения этих задач показал преимущество косвенного метода, основанного на

электрическом, а не на механическом испытании [5]. Для экспериментов были отобраны несколько типов вертикальных сейсморазведочных приборов марки СВ, имеющих конструкцию в виде магнитной системы, жестко связанной со стальным корпусом, и рабочей катушки, соединяемой с магнитной системой посредством двух дисковых пружин. Механический контакт такого прибора с геофизическим объектом осуществляется коническим штырем, привинчиваемым к корпусу. Масса опробованных нами приборов находилась в пределах $M_k = 150-200 \text{ г}$, масса катушки имела величину порядка $m_{кат} = 20 \text{ г}$. При измерении чувствительности корпус жестко укреплялся (привинчивался) к массивному основанию. Испытательное возбуждение осуществлялось путем пропускания через рабочую катушку гармонического тока $I = I_0 \sin(\omega t)$, амплитуда которого I_0 . На горизонтальном участке частотной характеристики при $f_{res} < f < f_{уст}$ катушка приходит в движение с ускорением $u'' = F/m_{кат} = s_e I/m_0$ (колебательной скоростью $u' = s_e I/\omega m_{кат}$). Электрический сигнал, возбуждаемый при данном движении, становится равным $U_s = s_e u' = (s_e)^2 I/\omega m_{кат}$. Отсюда может быть определена чувствительность: $s_e = \sqrt{(U_s \omega m_{кат}/I)}$. Как видно, измерение чувствительности сейсмоприемника удается выполнить чисто статическим экспериментом - без использования вибростенда. При этом требуется измерение только одного механического параметра - массы катушки $m_{кат}$; остальные параметры - возбуждающий ток I , электрическое напряжение на катушке U , и частота ω измеряются электрически. При исследовании конкретной группы из 20 сейсмоприемников типа СВ-20 средняя чувствительность оказалась равной $s_e = 30 \text{ Вс/м}$ при разбросе $\sigma(s_e)/s_e < 5\%$.

Измерение собственной частоты $f_{res} = \omega_{res}/2\pi = (1/2\pi)\sqrt{w_0/m_{кат}}$ и добротности Q также выполнялось статическим способом - по переходу через ноль фазового сдвига между током I и напряжением на катушке U : $\varphi(U, I) = \arctg [1 - (\omega/\omega_{res})^2 / (Q^2 - (\omega/\omega_{res})^2)]$. При $\varphi(U, I) = 0$ имеет место $\omega = \omega_{res}$ [5]. Нулевая величина фазового сдвига определялась осциллографическим методом - по "схлопыванию" эллипса на фигурах Лиссажу. Таким путем достигается высокая точность измерения, поскольку погрешность не превышает величины $d(\omega_{res})/\omega_{res} < 1\%$.

Изучение эффекта увеличения генерируемой силы, достигаемого резонансным соединением сейсмоприемника с геофизическим объектом, проводилось в двух типах сред: низкоскоростной рыхлой песчано-глинистой почве, типичной для зоны малых скоростей ($V_p \sim 300 \text{ м/с}$), и консолидированной среднескоростной среде ($V_p = 2700 \text{ м/с}$), близкой по своим параметрам к горным породам средних глубин. Конструкция излучающего вибратора выполнялась в виде упругого соединения двух стандартных идентичных электродинамических сейсмоприемников. При этом пружина, соединяющая сейсмоприемники, была выполнена в виде изогнутой П-образной пластины. Ее жесткость w_1 путем подбора толщины и конфигурации выполнена так, чтобы механический резонатор, образуемый ею и массой сейсмоприемника, имел частоту порядка $f_{res,1} \sim 45 \text{ Гц}$, что обеспечивало достаточное удале-

ние как от собственной частоты сейсμοприемника $f_{\text{pec}} \sim 20$ Гц, так и от частоты установочного резонанса $f_{\text{уст.pec}} \sim 150$ Гц.

Нижний сейсμοприемник этой конструкции обычным путем (с помощью навинчиваемого штыря) укреплялся на исследуемом геофизическом объекте. Поэтому его частотная характеристика оказывается горизонтальной, начиная от нуля и кончая частотой установочного резонанса $f_{\text{уст.pec}}$.

Что же касается верхнего сейсμοприемника данной конструкции, то упругое соединение его с нижним образует механический резонатор, обладающий свойствами фильтра нижних частот второго порядка [1], характеризующегося острым резонансным пиком на частоте $f_{\text{pec.1}} = \sqrt{w_1/M_{\text{сн}}}$ как в режиме приема, так и генерации колебаний. Для приема возбуждаемых колебаний в эксперименте использовался третий сейсμοприемник идентичный первым двум. Эффект резонансного усиления излучаемых колебаний в консолидированную среду оказался близким к величине ее добротности $Q \sim 30-35$. Эксперимент в рыхлой среде показал существенно меньшие величины, как добротности Q , так и соответствующего ей увеличения амплитуды генерируемых колебаний $\sim 2.5-3$. Объяснение столь значительного падения добротности резонатора в рыхлой среде, по-видимому, следует искать в большей величине поглощения.

Интересным, но в то же время и трудно объяснимым фактом является различие величин добротностей резонатора в режимах приема и излучения колебаний. Даже в консолидированной среде при изменении режима от излучения к приему добротность резонатора возрастает приблизительно в полтора раза - от $Q=30-35$ до $Q=50$. Возможно, это происходит из-за большого различия кривизны фронта волн, имеющих место при излучении и приеме.

Было также проведено зондирование линейного профиля в зоне малых скоростей. Такой объект типичен для задач инженерной сейсмологии. Геоакустическая среда здесь характеризуется значительной неоднородностью, что обусловлено чередованием утрамбованных и рыхлых участков поверхности, присутствием остатков строительного мусора и других неоднородностей. Зондирование выполнялось следующим образом. Прием сигнала выполнялся обычным электродинамическим сейсμοприем-

ником, жестко укрепленным на поверхности почвы. В качестве источников зондирующего сигнала попеременно использовались сейсμοприемник, напрямую соединенный с почвой, и сейсμοприемник, резонансно соединенный с почвой посредством упругой пружины, образующей в паре с корпусом резонатор, обладающий собственной частотой около 48 Гц. В первом случае частота зондирующего сигнала выбралась равной частоте установочного резонанса, оказавшейся при данном типе почвы равной $f_{\text{уст.pec}} = 130$ Гц. Во втором случае зондирование выполнялось на собственной частоте резонатора $f_{\text{pec}} = 48$ Гц.

При проведении эксперимента использовались стандартные электронные измерительные приборы. Для возбуждения источников был применен звуковой генератор с частотным диапазоном от 20 Гц до 200 кГц, имевший величину выходной мощности 5 Вт. Измерение принимаемого сигнала выполнялось серийно выпускаемыми электронными приборами: двухлучевым осциллографом, цифровыми вольтметром и частотометром.

Фрагмент измерений волнового поля профиля приведен на рис 3. Как видно, в условиях рыхлой низкоскоростной геоакустической среды дальность действия зондирующего сигнала, ограничивается микросейсмическими шумами и оказывается не менее величины $L_{\text{max}} \sim 10$ м.

Выводы:

1) На основе обращенных (включенных генератором силы) серийных электродинамических сейсμοприемников могут быть построены удобные для сейсмического зондирования вибраторы. При этом единичный сейсμοприемник способен развить силу величины порядка десяти ньютонов (1 килограмма).

2) Применение упругой резонансно настроенной связи "сейсμοприемника - вибратора" с объектом позволяет увеличить генерируемую силу в число раз, равное добротности - несколько десятков. Жесткая связь группы сейсμοприемников увеличивает генерируемую силу в число раз, равное количеству элементов в группе. Таким образом, величину генерируемой силы можно увеличить на несколько порядков.

3) Частотный диапазон таких вибраторов имеет равномерную характеристику, начиная от собственной частоты сейсμοприемника (10 - 30 Гц для сейсморазведочных и на один - два порядка ниже - для сейсмологических) и кончая частотой установочного резонанса его связи с объектом (100-200 Гц в рыхлых почвах и более тысячи Гц - в консолидированных).

Литература

1. Гик Л.Д. Измерение вибраций. Наука, Новосибирск, 1972, 292 с.
2. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. Авторы: Н.Н. Пузырев, А.В. Тригубов, Л.Ю. Бродов и др. Недра, М. 1985, 280 с.
3. Программно-аппаратурный комплекс "Эхо-1" для ультразвукового сейсмического моделирования. Методические рекомендации. Сост. Б.А. Бобров, Л.Д. Гик, Н.М. Держи и Ю.А. Орлов. Изд. Института Геологии и Геофизики СО АН СССР, 124 с.
4. С.В. Гольдин. Интерпретация данных сейсмического метода отраженных волн. М., Недра, 1979, 344 с.
5. Гик Л.Д. Контроль параметров сейсμοприемников без нарушения их механической связи с исследуемым объектом. Автометрия, 2000, №2, с. 91-103.

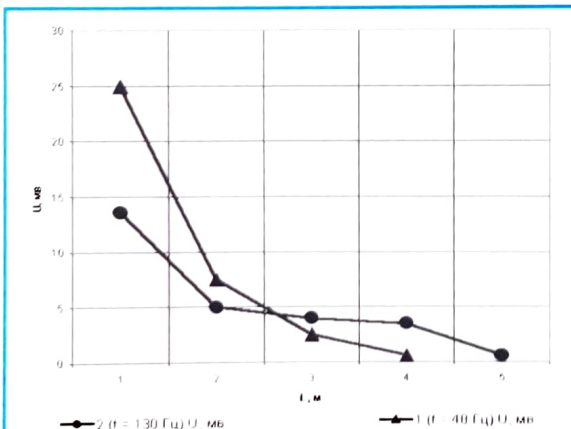


Рис. 3 Зондирование профиля в верхней части разреза:
1 - резонансно соединенным вибратором ($f=48$ Гц),
2 - жестко соединенным вибратором ($f=130$ Гц)

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Измерение предельно малых низкочастотных сейсмических сигналов

Гик Л.Д., институт геофизики СО РАН, г. Новосибирск

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

При решении некоторых задач сейсмики возникает необходимость измерения низкочастотных сигналов предельно малой величины. С этим, в частности, приходится сталкиваться при проверке гипотезы возникновения сейсмической эмиссии под действием возрастания напряжения горных пород до уровня близкого к разрушению. Известны предположения о том, что в процессе нарастания напряжений возможна генерация именно низкочастотных колебательных движений. Подобная задача возникает при поиске энергетически оптимальных условий сейсмического зондирования геологической среды, а также в ряде других случаев.

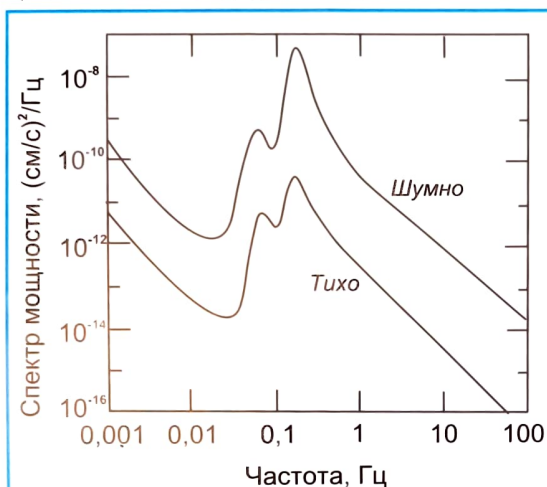


Рис. 1 Результаты исследования спектральной плотности колебательной скорости микросейсмического сигнала

В аппаратном плане задача измерения предельно малых сейсмических сигналов сводится к созданию прибора, обладающего порогом чувствительности близким к уровню микросейсмического шума. Оценить величину последнего позволяют приведенные на рис. 1 результаты исследования спектральной плотности колебательной скорости микросейсмического сигнала [1]. Приведенные зависимости можно приближенно выразить соотношением:

$$s_w = \partial(u')^2 / \partial f = k_w / f^2 \quad (1)$$

Здесь k_w - размерный коэффициент $k_w \sim 10^{-13} - 10^{-11}$ (см/с)² в диапазоне инфранизких частот $f < 0,03$ Гц и $k_w \sim 10^{-9} - 10^{-7}$ (см/с)² в диапазоне низких и средних частот $f > 0,3$ Гц. Нижние цифры коэффициента k_w соответствуют "тихому", а верхние "шумному" состоянию геоакустической среды. В промежуточном диапазоне частот $f = 0,03 - 0,3$ Гц коэффициент k_w имеет среднее (возрастающее с ростом частоты) значение.

То, что спектр мощности микросейсмических шумов на инфранизких частотах имеет величину на четыре порядка меньшую, чем на низких и средних частотах, объясняет причину попыток использования именно максимально низкочастотных сигналов в качестве индикаторов напряженного состояния горных пород. Это означало бы

принципиальную возможность улавливать сигналы сейсмической эмиссии, имеющие на два порядка меньшую амплитуду. Причина генерации сигналов именно низких частот при этом объясняется тем, что на начальной стадии процесс разрушения может развиваться весьма медленно.

Используя выражение (1), можно оценить среднеквадратическую величину амплитуды микросейсмического шума. Так, в некоторой полосе частот Δf величину колебательной скорости шума можно выразить как $\sigma_w = \sqrt{s_w \Delta f}$. При использовании аналоговых фильтров полоса частот Δf воспринимаемых сигналов обычно оказывается пропорциональной средней частоте регистрируемого тона. Для колебательной скорости $\Delta f = k_f f$. Здесь k_f - коэффициент, являющийся октавным выражением частотной полосы. Таким образом, среднеквадратическая величина колебательной скорости микросейсмического шума может быть выражена как $\sigma_w = \sqrt{k_w k_f / f}$. Количественные оценки показывают, что в "сейсморазведочном" диапазоне частот колебательная скорость микросейсмического сигнала имеет величину $\sigma_w = \sqrt{s_w [f \sim 10 \text{ Гц}, \Delta f \sim 5 \text{ Гц}]} \sim 4 \cdot 10^{-9}$ м/с. По порядку величины данная цифра соответствует экспериментальным данным сейсмологии, что является подтверждением правильности подобной методики расчета микросейсмических шумов. Поскольку применение электродинамических сейсмодатчиков в сочетании с электронными усилителями позволяет реализовать достаточную чувствительность для измерения сейсмических сигналов на фоне микросейсмических шумов, то задачу измерения предельно малых сейсмических сигналов в диапазоне средних частот ($f > 0,3$ Гц) можно считать в принципе решенной.

Существенно иная ситуация имеет место в диапазоне инфранизких частот ($f < 0,03$ Гц). Здесь полоса фильтрации обычно реализуется не аналоговыми, а компьютерными средствами. В соответствии с этим временной интервал измерения $T_{\text{изм}}$, определяющий частотную полосу пропускания $\Delta f = 1/T_{\text{изм}}$, чаще всего оказывается постоянной величиной $\Delta f [f < 0,03 \text{ Гц}] = f_0 = \text{const}$. В соответствии с этим среднеквадратическая величина ускорения становится равной $\sigma_w = 2\pi \sqrt{k_w f_0}$. В частности, при $f_0 = 0,01$ Гц имеем $\sigma_w \sim 2 \cdot 10^{-11}$ м/с². В результате задача изучения микросейсмического шума сводится к измерению очень низкочастотных (практически статических) ускорений величиной $\sigma_w \sim 0,002 \cdot 10^{-9}$ g. Работы в области измерения сейсмических сигналов, имеющих столь малые ускорения, мало известны. Так, приливные гравиметры, которые можно считать приборами наиболее близкими к решению данной задачи, обладают чувствительностью на три порядка меньше требуемой величины. По-видимому, именно этот факт является причиной отсутствия соответствующей информации и возникновения различных гипотез. Попробуем обсудить возможный путь решения

данной задачи.

Рассмотрим условия решения такой задачи на основе использования инфра-низкочастотного сейсмографа в сочетании с высоко чувствительным электромеханическим преобразователем перемещений. Примем за основу использование в качестве датчика ускорения низкочастотного сейсмографа, имеющего собственный период колебаний $T_{\text{сн}} (\text{с}) \sim 10$ с. Снижение собственной частоты сейсмографа менее этой величины приводит к значительному ухудшению его эксплуатационных характеристик. Используя известные соотношения теории сейсмометрии [2], получаем выражение, связывающее выходную $u_{\text{сн}}$ и входную $u_{\text{вх}}$ величины сейсмографа: $u_{\text{сн}} = u_{\text{вх}} \cdot (T_{\text{сн}}/2\pi)^2$. При измерении минимально возможных сигналов $u_{\text{сн}} = u_{\text{мин}}$, имеющих уровень близкий к величине микросейсмического шума $\sigma_{\text{ш}} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ мс}^{-2}$, необходим преобразователь перемещений с порогом чувствительности $u_{\text{мин}} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$. В противном случае для измерения малых инфра-низкочастотных ускорений придется довольствоваться более грубым прибором, определяемым условием $\sigma_{\text{ш, мин}} = u_{\text{мин}} \cdot (2\pi/T_{\text{сн}})^2$.

Построение столь высокочувствительных преобразователей перемещений связано с трудностями. Так, датчики с оптическими интерференционными преобразователями способны обеспечить высокую надежность измерения, если величина измеряемого перемещения по порядку величины превышает четверть длины волны $u_{\text{мин}} > \lambda/4 \sim 10^{-8} \text{ м}$, что оказывается более, чем на два порядка хуже требуемой величины. Порог чувствительности используемых в широкой практике параметрических (емкостных и индуктивных) электромеханических преобразователей чаще всего по порядку величины указывается приблизительно таким же. Однако в последнем случае ограничение порога чувствительности связано не с принципиальными физическими факторами, а с технологическими трудностями. По нашему мнению, наиболее перспективным является поиск решения задачи на пути оптимизации чувствительности именно емкостных преобразователей.

Попытка двигаться в этом направлении привела к следующим результатам. Условие, определяющее порог чувствительности датчика перемещения, может быть выражено так: $d(Z_{\text{эс}}/u_{\text{мин}}) = (\partial Z_{\text{эс}}/\partial u) \cdot u_{\text{мин}} > Z_{\text{эс, мин}}$, т.е. приращение электрического параметра преобразователя $d(Z_{\text{эс}})$, вызванное некоторым минимальным перемещением $u_{\text{мин}}$, должно быть больше, чем порог чувствительности электроизмерительного прибора $Z_{\text{эс, мин}}$. Чувствительность преобразователя $\partial Z_{\text{эс}}/\partial u$ приближенно может быть выражена как $\partial Z_{\text{эс}}/\partial u \sim Z_{\text{эс, н}}/u_0$. Здесь $Z_{\text{эс, н}}$ - начальное значение электрического параметра, а u_0 диапазон измерения преобразователя по перемещению. Порог чувствительности электрического измерительного прибора $Z_{\text{эс, мин}}$ фактически представляет собой абсолютную погрешность измерения по данному параметру $\eta Z_{\text{эс}}$. Здесь η - относительная погрешность измерения, которая при использовании современных высокоточных (обычно мостовых) методов измерения для емкостных преобразователей имеет порядок величины $\eta \sim 10^{-6} - 10^{-5}$, а для индуктивных примерно на порядок грубее. Поэтому порог чувствительности параметрического электро-механического преобразователя перемещения

может быть оценен как $u_{\text{мин}} > \eta Z_{\text{эс}} \cdot u_0/Z_0 \sim \eta u_0$.

Минимальную величину диапазона перемещения чувствительного элемента преобразователя u_0 (у емкостных преобразователей это обычно зазор между обкладками конденсатора) по конструктивным соображениям приходится выбирать не менее некоторой технологически предельной величины $u_{0, \text{мин}} > 0,05 - 0,1 \text{ мм}$ в противном случае резко возрастает вероятность короткого замыкания между обкладками. Поэтому, если полагаться на цифры, близкие к пределу точности приборов широкого применения, то можно сделать вывод о том, что достижение желаемой величины порога чувствительности преобразователя перемещения, составляющего $u_{\text{мин}} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, в принципе возможно, хотя и связано с трудностями. Из последнего утверждения автоматически следует, что, если в основу работы аппаратурного комплекса положить 10-секундный сейсмограф, емкостный электромеханический преобразователь перемещения и высокоточный (мостовой) измеритель выходной емкости, то есть основания считать вполне реальной возможность измерения низкочастотного сейсмического сигнала, имеющего величину:

$$\sigma_{\text{ш}} \sim 2 \cdot 10^{-11} \text{ мс}^{-2} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ г}.$$

Представляет интерес попытка оценить связь между величиной излученного сейсмического сигнала, имеющего ускорение u'' , и причиной возникновения этого сигнала, выражением чего может быть сила F , определяемая, в свою очередь, интегральным результатом напряженного состояния горных пород по поверхности S , замыкающей некоторый объем геологической среды $F = \int_S (\sigma) ds$. Воспользуемся соотношением [3]: $u(t) = F(t)/(4\pi\rho V^2 R)$, из которого следует, что ускорение излученного сигнала:

$$d^2(u(t))/dt^2 = (4\pi\rho V^2 R)^{-1} d^2(F(t))/dt^2 \quad (2)$$

определяется не самой величиной напряженного состояния горной породы, а его второй производной по времени $d^2(\sigma(t))/dt^2$.

Из этого факта приходится сделать вывод о том, что причиной заметного (по уровню) излучения сейсмической эмиссии не могут быть не только статические, но даже медленно меняющиеся, в том числе и линейно нарастающие напряжения горных пород. По-видимому, причиной форшоковой эмиссии являются эффекты локального разрушения элементов горной породы, включая трещинообразование "хрупких" по природе элементов в местах концентрации локальных напряжений. Поскольку процесс возникновения трещины может носить сравнительно быстрый, скачкообразный характер, то это и может оказаться причиной возникновения сравнительно быстрого импульса сидового воздействия, а значит и появления заметного - превышающего уровень микросейсмического шума сейсмического излучения.

С организацией восприятия предельно малых сигналов низких и инфранизких частот связана и другая важная задача сейсмологии - выбор оптимальной частоты кондирующего сигнала, соответствующей заданной величине силы возбуждающего источника $F(f) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$, при которой достигается максимальная дальность кондирования $L_{\text{макс}}$. Если величина возбуждающей силы не зависит от частоты ($F(f) = F_0$), то в обоих диапазонах частот $f < 0,03 \text{ Гц}$ и $f > 0,3 \text{ Гц}$ генерируемое ускорение $u''(L)$ в соответствии с



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



выражением (2) оказывается пропорциональным квадрату частоты зондирующего сигнала $u''(L) \approx f^2 F_0$. Поэтому наиболее энергетически экономичному варианту зондирования соответствует верхняя граница возможного частотного диапазона. В варианте использования инфранизких частот этому соответствует нижняя граничная частота диапазона $f=0,03$ Гц. В варианте низких и средних частот этому соответствует частота, отвечающая условию малого поглощения $u(Q, f)/u(Q, f=0) \approx \exp(-\pi Q^2 L/\lambda)$. Условие возникновения сильного поглощения может быть выражено как $\pi Q^2 L/\lambda > 1$. Поскольку длина волны $\lambda = V/f$, то верхняя граница частот, отвечающая условию малых поглощений, оказывается равной $f_{\text{max}} = QV/\pi L$. Так, например, при $Q=200$, $V=10$ км/с и $L=10$ км оптимальная величина частоты зондирующего сигнала оказывается равной $f_{\text{max}}=60$ Гц.

Заслуживает внимания вопрос о том, какая частота зондирования оказывается энергетически более выгодной - верхняя граница инфранизко-частотного диапазона $f=0,03$ Гц или нижняя граница низкочастотного $f=0,3$ Гц. Поскольку отношение этих частот составляет один порядок, то отношение генерируемых ускорений составляет два порядка. Такую же величину имеет и отношение микросейсмических шумов на данных частотах. Поэтому с энергетической точки зрения результаты зондирования на данных двух частотах будут равноценны.

Выводы:

1. Нижним пределом величины измеряемых сейсмических сигналов, включая и его инфра-

низкочастотную часть спектра, является уровень микросейсмического шума. Уровень последнего в условии неизменной величины частотной полосы пропускания пропорционален ускорению движения. Для инфранизкочастотной области спектра ($f < 0,03$ Гц) величина этого шума в полосе $\Delta f = 0,01$ Гц составляет $\sigma_w \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ мс}^{-2} = 0,002 \text{ г}$.

2. Прибор, способный измерить столь малые величины ускорений, может быть построен на основе широко используемого в сейсмологической практике сейсмографа с собственным периодом $T_0 = 10$ с, емкостного преобразователя перемещений (с плоским конденсатором, имеющим зазор порядка $u_0 \sim 0,1$ мм) и стандартного высокоточного емкостного моста.

3. Сигнал сейсмической эмиссии пропорционален второй производной по времени от возбуждающей силы и потому не может быть следствием медленно меняющихся напряжений в массиве горных пород.

4. При зондировании геологической среды частотно независимым гармоническим источником постоянной силы максимальная дальность зондирования имеет место на верхней границе возможного частотного диапазона.

Литература.

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Т.1 Мир, 1983. 520 с.
2. Гик Л.Д. Измерение вибраций. Новосибирск, Наука, 1972, 202 с.
3. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн/Пузырев Н.Н., Тригубов А.В., Бродов Л.Ю. и др. М.: Недра, 1985. 277 с.

Кафедре геофизики СГУ исполнилось 55 лет

В 2004 г. исполнилось 55 лет кафедре геофизики Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

За прошедший период подготовлено более полутора тысяч специалистов, работающих в разных регионах страны и за рубежом. Среди них признанные лидеры производства, науки, образования: лауреаты государственных премий, заслуженные геологи России, доктора, кандидаты наук и профессора. Имена многих из них широко известны: Б.И. Беспятов, Г.И. Барулин, В.Р. Волков, А.И. Горелик, М.М. Дмитриев, П.Ю. Захаров, В.П. Иванкин, А.М. Иванчук, И.А. Кобылкин, С.И. Михеев, А.В. Мичурин, В.В. Тикшаев, Н.Л. Янченко и др.

Что отличает современное состояние кафедры? Прежде всего, внедрение в учебный и научный процессы компьютерных технологий, без которых геофизика немыслима. Более трех лет функционирует вычислительный центр, оснащенный шестнадцатью РС "Pentium-4", внедрена цифровая сейсмастанция, цифровой магнитометр. Обучает студентов высококвалифицированный коллектив преподавателей, все имеют ученые степени: 2 доктора наук (профессора) и 8 кандидатов (доценты). За последние пять лет кафедрой опубликовано 7 учебных пособий, 50 научных статей, 2 монографии. Научная работа ведется в тесной связи с НИИ геологии СГУ, создан научно-образовательный комплекс (НОК), в который входят геологический колледж и геологические музеи факультета.

Постоянная спонсорская помощь кафедре со стороны ОАО "Саратовнефтегеофизика" (генеральный директор А.В. Мичурин), Саратовской геофизической экспедиции (начальник В.Н. Денисов), Саратовского отделения Евро-Азиатского геофизического общества (председатель П.А. Турлов).

Между тем имеются и серьезные проблемы. Остается мизерной зарплата преподавателей, поэтому обостряется кадровая проблема - средний возраст преподавателей приближается к 60 годам; соискателей докторских диссертаций нет. Учебная литература стареет. Продолжается чехарда с государственным образовательным стандартом. Оставляют желать лучшего лабораторная база, оснащение новой аппаратурой учебных практик и многое другое.

Тем не менее кафедра жива, энергично действует и является ведущей на геологическом факультете.

Подготовке геофизиков придается большое значение, они должны иметь широкий кругозор мышления, решать сложные задачи науки и производства и, в полной мере обладая современной методологией научного познания, играть "первую" скрипку в геологии.

**Зав. Кафедрой геофизики СГУ,
Профессор, заслуженный геолог РФ,
Член ЕАГО**

Ю.П. Конценбин

Вперед в будущее или назад к истокам? Новейшее оборудование компании INPUT/OUTPUT, INC делает вопрос о применении группирования сейсмоприемников дискуссионным

Жгенти С.А., "ИНГЕО" - сервисный центр компании INPUT/OUTPUT, INC, г. Москва



Все мы, практикующие в настоящее время инженеры сейсморазведки, обучались применению интерференционных систем для оптимизации условий возбуждения и приема сейсмических волн. Мы продолжаем применять их и в настоящее время. Но техническая оснащенность и технологические возможности сейсморазведки в последнее время сильно продвинулись вперед, расширились и круг ее практически применимых модификаций.

Кроме традиционных 2D работ, мы активно проводим 3D разведку и, на новом технологическом уровне, возвращаемся к 3C исследованиям. При этом мы используем стандартное, имеющееся на вооружении оборудование, пытаемся придумать его под решение стоящих задач. Однако здесь часто возникают сомнения и вопросы: как лучше поступить в той или иной ситуации? Одним из таких "горячих" вопросов стал вопрос о применении группирования сейсмоприемников.

Последняя разработка компании INPUT/OUTPUT, INC., получившая коммерческое продолжение, - комплекс оборудования для осуществления 3-х компонентной регистрации сейсмических данных (авторы называют это регистрацией "полного волнового поля"). Для проведения работ этот комплекс предполагает использование единой, взаимосвязанной системы: регистрирующей станции и одиночных 3-х компонентных сейсмодатчиков нового поколения, получивших название VeerforSeis и изготовленных с применением технологии МЭМС [1].

Предложение применять для приема колебаний одиночные сейсмические датчики VeerforSeis всегда и неизбежно вызывает горячую дискуссию. Попробуем разобраться в этой проблеме. Но - в начале - немного истории.

На этапе зарождения сейсморазведки сейсмические волны регистрировались несколькими каналами и одиночными сейсмоприемниками. Регистраторы и сейсмические датчики изготавливались полукустарно; специальной промышленности еще не было, а сам метод находился в начале развития - в истоке. Конечно, проследиванию отражений сильно мешали различные помехи и, в первую очередь, - поверхностные волны, к счастью имеющие основную энергию в области низких (до 10 - 15 Гц) частот, лишь частично перекрывающих спектры импульсов полезных волн.

Со временем, в процессе развития метода, число каналов у регистраторов выросло, а сейсмоприемники стали доступнее. Для ослабления поверхностных помех стали применять интерференционные системы, позволяющие проводить селекцию регистрируемых колебаний по длинам волн. Эти интерференционные системы приема получили название "группы сейсмоприемников".

Выбор оптимальных параметров группирования стал важнейшей творческой задачей при оптимизации методики полевых работ.

Не будем касаться тонкостей электромеханических преобразований сейсмических сигналов и других сложных теоретических закономер-

ностей, ограничимся простыми размышлениями на уровне пользователя. Заметим только, что сигнал, зарегистрированный одиночным сейсмоприемником тем лучше, чем лучше его контакт с грунтом, а максимум его чувствительности (направленность 1 рода) расположен на вертикали (для вертикальных приборов) и на горизонтали (для горизонтальных приборов).

Группа создается из нескольких (N) сейсмоприемников, определенным образом расставленных по профилю или площади и соединенных так, что сигналы отдельных сейсмоприемников суммируются. Если все сейсмоприемники регистрируют синхронные колебания, то результирующий сигнал увеличивается в N раз. Если регистрируются колебания, приходящие к сейсмоприемникам с задержкой, то они суммируются в соответствии с характеристикой направленности группы (направленность 2 рода). Колебания, приходящие к сейсмоприемникам в противофазе, формируют условный ноль выходного сигнала.

Характеристики направленности групп сейсмоприемников рассчитываются из допущений множества идеализаций: гармоничности колебаний, плоской поверхности наблюдений, плоских фронтов регистрируемых волн и др. В реальной жизни редко удается ослабить волны-помехи группой сейсмоприемников на величину, большую 10 - 18 дБ. Эффект ослабления снижают существующие реалии: условия установки приборов (контакт с грунтом, отклонение от вертикали), их неидентичность, квазигармоничность колебаний, дисперсия реальных параметров ослабляемых волн, наводки на соединяющие провода и т.д.

Известно множество способов группирования: линейное с равномерным распределением чувствительности, линейное с различными законами распределения чувствительности, площадное, в форме различных геометрических фигур и др.

Во времена, когда динамический диапазон регистрации был недостаточным, а обработка сейсмических данных была развита слабо, вопросу повышения соотношения сигнал/помеха на этапе проведения полевых наблюдений уделялось большое внимание. Проводилось тщательное полевое тестирование разных предварительно рассчитанных вариантов, а сам процесс выбора оптимальных параметров был средним искусством. Но применительно и подбору оптимальных параметров группирования было защищено множество диссертаций.

В последующем, с развитием метода, появились многоканальные цифровые регистрирующие системы, имеющие значительно больший динамический диапазон регистрации и позволяющие перенести основное внимание на обеспечение повышения производительности работ. Объемы работ многократно выросли. Расстановки стали более стандартными (обычно 10-12 сейсмоприемников на базе 50-60 метров), в целом пригодными для существенного ослабления поверхностных волн-помех практически во всех районах проведения работ.

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В настоящее время, когда обработка цифровой сейсмической информации уже достаточно развита, стали пущи данные в широком частотном диапазоне и в "истинных" значениях амплитуд.

Выбор параметров группирования практически перестали придавать какое-либо серьезное значение, ограничиваясь промышленно изготавливаемыми группами сейсмоприемников, все чаще вспоминая о том, что при интерференционном приеме колебаний наряду с ослаблением помех происходит также искажение частотных спектров полезных волн.

Еще позднее появились сверхмногоканальные цифровые телеметрические системы регистрации, позволяющие в реальном времени регистрировать уже несколько сотен и тысяч сейсмических каналов в широком частотном и динамическом диапазонах. Стало возможным существенно уменьшить расстояние между пунктами приема (до 25 - 30 м), что позволило повысить детальность изучения сейсмических разрезов, но одновременно ограничило размеры баз группирования сейсмоприемников, а короткие базы группирования уже не обеспечивают подавления поверхностных волн-помех, и их ослабление все чаще стали переносить на этап обработки материалов. Этому способствуют большой динамический диапазон регистрирующих систем (АЦП - уже 24 разряда) и постоянно совершенствующиеся возможности обрабатывающих пакетов.

Практически произошел естественный технологический отказ от использования группирования для целенаправленного подавления низкоскоростных волн-помех.

Как следствие внедрения сверхмногоканальных систем регистрации начала реализовываться на практике давняя мечта исследователей - трехмерная пространственная сейсморазведка 3D, где к способам группирования сейсмоприемников применяются уже другие требования. Из-за того, что 3D наблюдения проводятся в различных лучевых плоскостях - их азимут может меняться в пределах 360°, для подавления помех, связанных с источником колебаний, правомерно применение симметричных относительно пункта приема площадных групп сейсмоприемников. Например, в форме звезды, которая одинаково эффективна при смене лучевых плоскостей, т.е. при различных не продольных выносах пункта возбуждения. Но практическая реализация такого типа группирования очень трудоемкий процесс и поэтому не имеет широкого применения.

Это хорошо объясняется тем, что появились новые, сравнительно более дешевые, возможности подавления помех на этапе обработки материалов.

"Продвинутые" исследователи при 3D работах стали собирать группы сейсмоприемников в условную точку, отказавшись от их использования для целенаправленного подавления поверхностных волн-помех, но все еще используя группы для повышения величины принимаемого сигнала, осреднения условий установки отдельных приемников и для подавления случайных помех, называя это использованием статистического эффекта группирования.

Стремление повысить амплитуду сигнала перед его регистрацией - "родимое пятно" периода аналогового приема колебаний. Мы привыкли к мысли о том, что всегда раньше, когда преобразование в цифровую форму происходило в процессе регистрации, амплитуда сигнала сильно уменьшалась за счет падения напряжения при

прохождении аналоговым сигналом протяженного сейсмического кросс до регистратора. Сейчас, когда сигнал может приниматься и передаваться в цифровой форме, это перестало иметь такое значение.

Мы также всегда были настроены на возможно большее повышение соотношения сигнал/помеха для того, что бы наилучшим образом обеспечить мгновенный динамический диапазон регистрации, когда создаются предпосылки для успешного выделения малоамплитудных колебаний при обработке данных. Однако аналого-цифровые преобразователи, работающие в современных датчиках в процессе приема колебаний, уже имеют 24 разряда и очень низкий уровень собственных шумов. Так, у датчиков VectorSeis мгновенный динамический диапазон составляет 110дБ [1]. При этом практически исчерпаны способы, позволяющие улучшить соотношение сигнал/помеха без искажения характеристик полезных волн. Вероятно, одним из путей обеспечения лучшего соотношения сигнал/помеха будет использование для приема колебаний сейсмодатчиков, погруженных во внутренние точки среды. Но пока этот путь выглядит слишком трудоемким.

Какую случайную помеху могут подавить сейсмоприемники, установленные на дневной поверхности и соединенные в условную точку? Весьма специфическую. Микросейсмы, как случайные помехи, все же имеют радиус корреляции порядка нескольких метров. Для их ослабления на основе статистического эффекта расстояние между приборами должно быть близким к половине этой величины, т.е. минимум первые метры. Вряд ли в практике работ удастся добиться их существенного ослабления, устанавливая приемники в "точку".

Бывают отдельные случаи, когда помеха воздействует на конкретный сейсмоприемник и не воздействует на соседний, стоящий рядом с ним. Что может быть такой помехой? Удары по конкретному сейсмоприемнику ветки куста или неисправность этого же конкретного сейсмоприемника? Других источников таких помех нет. Все другие помехи, имеющие волновую природу, учитывая относительно малые скорости их распространения, будут одинаково воздействовать на рядом стоящие (в условной "точке") сейсмоприемники.

"Осреднение условий установки"?... Здесь имеется в виду, что не все сейсмоприемники, собранные в "точку" на пункте приема вертикально установлены и не у всех обеспечен хороший контакт с грунтом. Фактически мы стараемся несколько раз продублировать, возможно, неблагоприятный контакт, в надежде на то, что, может быть, нам удастся уменьшить его негативное влияние. Но ведь такие ошибки, с одной стороны, могут накапливаться и усиливать негативный эффект, а с другой - могут быть просто не допущены благодаря специальной тщательности выполнения процедуры установки каждого одиночного сейсмоприемника на каждом ПП (просто для этого должны быть созданы предпосылки).

Со временем размеры групп все больше ограничиваются применяемыми интервалами между ПП, которые, при стремлении к повышению горизонтальной разрешающей способности, имеют тенденцию к уменьшению, и уже сейчас слишком малы для обеспечения высокого подавления поверхностных волн.

Сейчас группы уже редко целенаправленно

настраиваются на подавление конкретных волн-помех, то есть уже утрачено первоначальное назначение группирования.

Применение для приема колебаний интерференционных систем в то же время содержит в себе и ряд определенно негативных факторов.

- Группа сейсмореприемников выступает как полосовой фильтр, ослабляя высокие и низкие частоты в спектрах полезных волн и, тем самым, снижая разрешающую способность метода. Часто кривизной фронта регистрируемой полезной волны пренебречь нельзя, не внося фильтрующего действия при суммировании сигналов от различных сейсмореприемников в группе.

- В пределах каждого пункта приема действует внутренняя топография, и таким образом, каждый сейсмореприемник имеет свою статистику, которая, накапливаясь в группе, приводит к искажениям регистрируемых волн. Эту статистику невозможно учесть, она же может сильно исказить регистрируемые сигналы. Влияние внутренней топографии на характеристики интерференционного приема тем больше, чем ниже скорости регистрируемых волн (это особенно важно при 3С работах).

- Через большое количество соединений происходят утечки напряжения, а соединительные провода, как антенны, улавливают различные наводки, приводящие к дополнительному ухудшению соотношения сигнал/помеха.

При многоволновой 3С сейсморазведке к приему колебаний существуют еще более высокие требования. В этой модификации исследований, необходимо определение углов подхода волн, т.к. зависимость скорости волны от угла ее распространения является одним из исследуемых параметров при изучении анизотропных свойств среды. Нужна строгая географическая ориентация пунктов приема (как же быть с группами?), а скорости полезных поперечных волн приближаются по величине к скоростям поверхностных волн. Поэтому, даже при 2D-3С исследованиях, применяют более короткие строго ориентированные базы группирования, как правило, не существенно ослабляющие поверхностные волны. Погрешности же в установке сейсмореприемников и внутренняя топография группы при 3С наблюдениях оказывают еще большее мешающее влияние на качество регистрируемых данных, потому что скорости и интенсивность поперечных волн, как правило, меньше чем у продольных.

Практически все сейсморазведчики - исследователи согласны с тем, что при 3D и 3С работах необходимо отказаться от интерференционного приема колебаний.

Что же мы имеем в итоге?

- ♦ При 2D работах применение групп сейсмореприемников даже при ограниченной базе оправдано. При этом для изготовления групп сейсмореприемники необходимо тщательно отбирать по идентичности АЧХ, следить за их состоянием в процессе работ, правильно (вертикально/горизонтально и азимутально) устанавливать, обеспечивая их хороший контакт с грунтом.

- ♦ При 3D и 3С работах применение линейного группирования сейсмореприемников нецелесообразно, т.к. несет в себе больше вреда, чем пользы. В результате применения группирования мы можем достичь некоторого улучшения соотношения сигнал/помеха, подаваемого на вход регистрирующей системы, но при этом происходят искажения частотных, динамических и азимутальных характеристик регистрируемых волн.

- ♦ На современном уровне развития метода и достигнутом уровне его технической оснащенности - при проведении 3D и 3С исследований можно и нужно отказаться от систем интерференционного приема. Но для этого необходимо создать специальные сейсмические датчики, соответствующие требованиям современных технологий проведения наблюдений.

Применение для приема колебаний одиночных сейсмических датчиков нового поколения, очевидно, будет естественным шагом в развитии метода, следующим этапом продвижения вперед - шагом в будущее.

Требования к этим новым датчикам таковы:

- Датчики должны иметь высокую чувствительность приема, обеспечивающую регистрацию колебаний во всем, применяемом в настоящее время, динамическом диапазоне регистрации сейсмических данных.

- Необходимо чтобы их дизайн обеспечивал легко осуществимую вертикальную, горизонтальную (если это необходимо) и азимутальную ориентацию при установке и обеспечивал бы хороший контакт с грунтом.

Именно такие датчики для приема сейсмических колебаний и предложены компанией INPUT/OUTPUT.INC [1].

Разработанный, сконструированный и выпускаемый компанией INPUT/OUTPUT.INC сейсмический 3-х компонентный датчик нового поколения VectorSeis выполнен с использованием технологии МЭМС [1]. Это датчик - активный, цифровой, интеллектуально наполненный и согласованный с входом сейсмостанции. Он производит самотестирование своего состояния, благодаря чему значительно сократилось время, необходимое для подготовки и отработки расстановки (заявлено 5 минут на подготовку 10 000 каналов). Он сам автоматически определяет угол своего отклонения от вертикали, который заносится в заголовок трасс и в последующем может быть учтен. Для улучшения контакта с грунтом он выполнен в виде цилиндра с конусовидным основанием, что способствует его легко осуществимому помещению в грунт. Для установки датчиков, при необходимости, предлагается использовать специальные устройства: ручные или пневматические буры - для предварительной подготовки установочных углублений (установочных гнезд) и специальные, ручные буссоли для их азимутальной ориентации.

Компания INPUT/OUTPUT предлагает с применением этих датчиков VectorSeis полностью отказаться от интерференционного приема колебаний.

При этом:

- обеспечивается практически неискаженный прием данных (АЧХ и ФЧХ датчиков плоские и линейные в диапазоне 1-1000 Гц) [1],

- на 10-25 % повышается производительность работ (нет необходимости расставлять группы сейсмореприемников) [1],

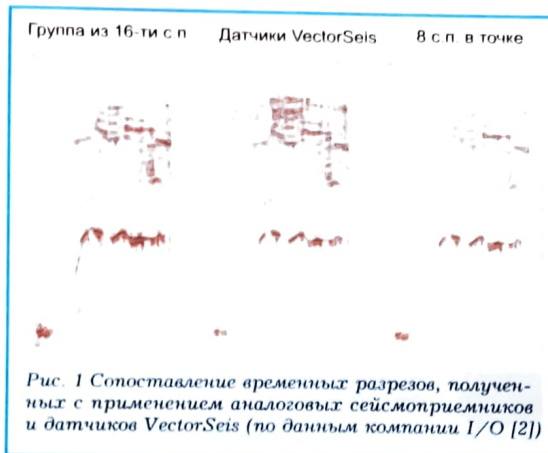
- впервые обеспечивается идентичность чувствительности всех пунктов приема при экономии времени на расстановку полевой системы наблюдения, благодаря способности датчиков учитывать угол своего отклонения от вертикали.

Фактически проведение исследований 3D-3С с применением этого оборудования впервые стало осуществимым в промышленных масштабах.

Важно отметить, что в составе такого оборудования сейсмореприемник перестает быть

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ





расходным материалом, а становится ценной частью регистрирующей системы - ДАТЧИКОМ сейсмических колебаний и отношение к нему меняется. Он дорого стоит, его необходимо бережно хранить, перевозить, устанавливать.

К настоящему времени во всем мире, различными геофизическими компаниями выполнено уже несколько сот проектов с применением датчиков VectorSeis. И конечно, пристальное внимание при реализации каждого проекта уделялось практическому изучению вопроса перехода к приему колебаний одиночными датчиками. Один из убедительных опубликованных результатов, приведен на рис. 1. Во всех без исключения случаях этот переход к применению для приема колебаний одиночных датчиков VectorSeis не только способствовал

успешному решению стоявших геологических задач, но и позволил значительно повысить производительность работ.

Очевидно, что на современном уровне развития методического и технического оснащения отказ от интерференционного приема явление закономерное, развитие метода этого требует, необходимые условия созрели, и первые способы реализации появились. Продолжать применять линейные группы сейсмоприемников при 3D и 3C вредно - это тормозит процесс развития, приводит к искажению результатов и применение интерференционных систем здесь неизбежно будет отторгнуто, как инородное тело в гармоничной системе.

Недалеко то время, когда единичные (не интерференционные) пункты приема на площадях исследований будут располагаться так же плотно как, в недавнем прошлом, сейсмоприемники в группе, и это, в свою очередь, опять вызовет дискуссию, потребует увеличения расходов на полевые работы и обработку данных, но неизбежно повысит информативность, детальность и надежность получаемых результатов.

Литература

1. Жгенти С.А., Смирнов Д.Н., Перегудов Ю.П.: "Новейшее оборудование INPUT/OUTPUT делает наземную 3-х компонентную сейсморазведку высокопроизводительной и надежной", - "Приборы и системы разведочной геофизики", № 02/2003. Саратовское отделение ЕАГО.
2. Cara Kiger: "Improving Seismic Imaging and Interpretation through Full wave Acquisition Technology", Форум I/O в Москве 21-22 сентября 2004г.



Компания "ГЕОСЕЙС"



**Предлагает геофизическим компаниям
оборудование в аренду
Сейсмостанции: SN 388; UL 408; INTROMARIN и другие
Источники возбуждения: ГЕОТОН; NOMAD 65; СВС 30**



Тел./факс: (095) 202-32-17, 202-32-27
e-mail: geoton@geoton.ru,
geoseis@col.ru
<http://www.geoton.ru/>



Интерференционные системы регистрации упругих колебаний

Хараз И.И., НВ НИИГГ, г. Саратов



Регистрация упругих колебаний в сейсморазведке осуществляется интерференционными системами (ИСР), основанными на применении группы сейсмоприемников, размещенных по линии (чаще всего вдоль профиля) или площади и соединенных между собой последовательно при линейном группировании, или последовательно-параллельно при площадной группе (рис.5) [5]. Разрешающая способность ИСР зависит от длины базы размещения сейсмоприемников, которая должна превышать длину сейсмической волны при линейных системах. Площадные ИСР содержат несколько линейных баз размещения сейсмоприемников по осям X,Y, а направленность всей группы определяется произведением их диаграмм направленности.

Необходимость применения (ИСР) определяется осложненным интерференционными процессами упругим полем, формирующимся в гетерогенной геологической среде при возбуждении волн сейсмическими источниками и волнами, обусловленными нелинейными процессами, возникающими в пористых, заполненных флюидами породах, слагающих верхнюю часть геологического разреза. К ним относится сейсмоакустическая эмиссия (САЭ) сейсмический шум, сопровождающий явления релаксации напряжений, гидродинамические и геохимические процессы и обладающий широкой полосой частот и высокой чувствительностью к внешним воздействиям [1,2,3].

В геологической среде возникают также нелинейные явления, вызванные интенсивными и длительными во времени упругими колебаниями, зависящими от изменчивости состояния среды, состава грунта, мощности слоев, их обводненности и уровня грунтовых вод. В рыхлых, слабо связанных грунтах нарушается структура грунта, увеличивается объем трещиноватого пространства, происходит разрыхление пород. По мнению А.В.Николаева [4], процессы в поверхностных грунтах имеют различные значения деформации растяжения и сжатия, в связи с нелинейностью закона Гука. Поэтому при интенсивном упругом поле искажены формы сигналов: амплитуды сжатия слабее амплитуд деформации растяжения. При излучении интенсивных вибросигналов искажается форма синусоиды нарушается ее симметрия. В среде формируются сейсморадиационные напряжения, вызывающие деформации растяжения в окрестностях источника. Образуются локальные области вблизи источников: зоны растяжения и на некоторых удалениях зоны сжатия.

Одной из особенностей вибрационного поля в гетерогенных средах является формирование в верхней части разреза вторичных импульсных источников упругих колебаний, по интенсивности соизмеримых с источником излучения. От таких источников в среде формируются упругие поля, аналогичные полю источника возбуждения колебаний, но смещенные во времени. При распространении упругих колебаний на физических границах формируются многочисленные многократные волны, также распространяющиеся в

верхней части разреза и влияющие на физические процессы, происходящие в ней.

Одним из важных вопросов при сейсморазведочных работах является обеспечение вертикальности плоскости лучей в пространстве, несоблюдение которого существенно влияет на результаты интерпретации. Плоскость лучей будет вертикальна, если профиль ориентирован вдоль линии простирания пород, а база размещения группы излучателей превышает длину сейсмической волны и ориентирована перпендикулярно линии профиля. При расположении профиля вкрест простирания пород база интерференционного источника (ИСВ) ориентуруется вдоль него.

Отмеченные явления вызывают интенсивные интерференционные процессы в геологической среде, на фоне которых сложно, а зачастую, невозможно выделить на записях сигналы отраженных волн. В таких условиях необходимо применять ИСР колебаний, основной задачей которых должна быть избирательная регистрация сейсмических сигналов по вертикали, излученных ИСВ. Согласование диаграмм направленности систем возбуждения и регистрации обеспечивает динамически выраженную запись сигналов отраженных волн и ослабление интерференционных явлений. В сложных геологических условиях не всегда можно обеспечить вертикальность плоскости лучей в пространстве. Поэтому при сейсмических исследованиях применяют площадные ИСР, при которых регистрируются сигналы, распределенные на поверхности волнового фронта регистрируемой волны [5]. Рассмотрим результаты исследований, выполненных по изучению влияния параметров группирования приборов, размещенных по линии вдоль и перпендикулярно профилю и по площади, которые достаточно полно характеризуют возможности каждого вида группирования.

При продольном группировании приборов (рис.1) с увеличением их количества и длины базы регистрации снижается интенсивность сигналов низкочастотных и низкоскоростных волн-помех. Наиболее четкая запись получена при 40 приборах. Низкочастотные помехи полностью не ослаблены и просматриваются на записи на всех каналах.

При поперечном группировании (рис.2) низкочастотные колебания интенсивнее в сравнении сейсмограммой с продольным расположением приборов, что свидетельствует о более низкой эффективности такого группирования. Это отмечается при сравнении записей с равным количеством приборов со всеми вариантами группирования от 16 до 40 шт. Наиболее эффективны площадные группы с 32 и 40 приборами (рис.3).

Из анализа закономерностей изменения амплитуд сигналов и их спектров различных вариантов группирования следует. При линейном группировании отмечается незакономерное изменение графиков амплитуд от числа приборов в группе. Общим для них является уменьшение амплитуд с увеличением числа приборов в группе и базы группирования. Нет единой законо-

ИННОВАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

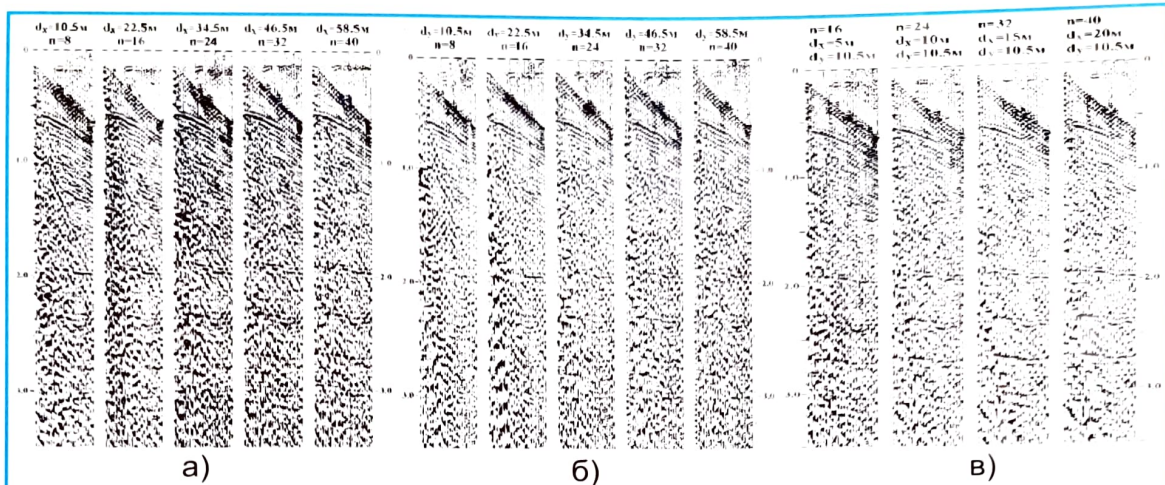


Рис. 1 Сейсмограммы группового источника а) - при продольном б) - при поперечном в) - при площадном группировании сейсмоприемников. n - количество сейсмоприемников

мерности изменения частотного спектра сигналов. По-видимому, это связано с интерференцией сигналов отраженных волн и низкочастотных помех. В связи с распространением помех вдоль профиля изменяется соотношение времен их регистрации в разные моменты времени и на различных расстояниях от пунктов возбуждения. Из-за недостаточной направленности приемная группа полностью не подавляет низкочастотные помехи и поэтому в различные моменты времени и на разных каналах частотный состав суммарного сигнала отличается в связи с изменением соотношения фаз и амплитуд сигналов интерферирующих волн.

Иная картина на сейсмограммах, зарегистрированных при площадном группировании сейсмоприемников. По большинству графиков отмечается общая закономерность - постоянство или возрастание амплитуд и частотного состава экстремума с увеличением количества приборов и размера площади группы. На сейсмических записях это проявляется повышением динамической выразительности сигналов отраженных волн (рис.3). Большая стабильность закономерности изменения спектров сигналов от параметров площадной группы связана с повышенной остротой направленности этой группы в сравнении с линейной. Об этом можно судить также по материалам рис.4: у площадной группы спектр сигнала несущественно изрезан, он имеет четко выраженный экстремум. Если считать, что сигналы отраженных волн среднечастотные, то из сравнения графиков изменения спектров сигналов линейных и площадных групп следует вывод: площадные группы в большей степени ослабляют

низкочастотные помехи и усиливают среднечастотные сигналы отраженных волн (рис. 3.4).

Применение интерференционных систем возбуждения и регистрации колебаний при полевых работах связано с усложнением методики их выполнения и поэтому актуален вопрос о возможности использования интерференционных систем обработки.

Аналогичная задача уже решалась для интерференционных систем излучения колебаний [5,6]. Результаты изучения волнового поля, возбужденного интерференционными источниками (ИСВ) в среде и при лабораторном суммировании сигналов сейсмических волн показали, что такие системы существенно различаются по физическим процессам, а полевые системы эффективнее лабораторных [5,6]. При интерференционных источниках упругих колебаний с направленным излучением волновые поля в пространстве энергетически не равномерны, что обусловлено перераспределением энергии при интерференционных процессах в среде. Это приводит к изменению характера волнового поля: усиливаются сигналы волн из направлений, куда ориентирован максимум диаграммы направленности и ослабляются из других направлений. Последовательное изменение ориентации диаграммы направленности влияет на интенсивность регистрируемых волн. Таким образом, способность интерференционного источника выделять сигналы сейсмических волн обусловлена изменением соотношения энергии волн, образующихся на различных границах раздела путем концентрации ее в требуемом направлении. Вторая особенность таких источников - управление формой годографа



Рис. 4 Сопоставление спектров $A=f(f)$ и сигналов $A=f(t)$ группового источника при различных группах сейсмоприемников



ИННОВАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

отраженной волны. При этом усиливаются сигналы отраженных волн от изучаемой границы, распределение по оси синфазности ожидаемой формы, и одновременно снижается интенсивность сигналов образовавшихся на других границах. При обработке информации не происходит перераспределение энергии и изменение динамики сейсмических волн. На использованных при обработке записях сигналы отраженных волн зарегистрированы со своими динамическими особенностями и формой годографа и соответствуют глубине и скорости их распространения. Задача обработки сводится к использованию лабораторных интерференционных систем для поочередного выделения в волновом поле сигналов полезных волн по различию их кинематики. Эффективность методов обработки определяется остротой направленности системы и зависит от динамики интерферирующих волн. Чем меньше интенсивность целевой волны, тем труднее выделить ее при обработке. Это определяет незаменимость интерференционных полевых и лабораторных систем [5,6].

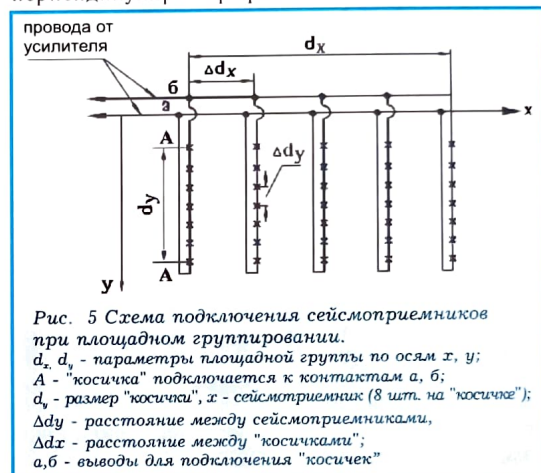
Группа сейсмоприемников является интерференционной системой регистрации колебаний, используемой для изменения интенсивности волн в зависимости от кажущейся скорости их распространения. Интенсивность сигналов волн зависит от длины базы размещения сейсмоприемников и их количества. Такие системы не могут изменять ориентацию диаграммы направленности в пространстве для последовательного усиления или ослабления сигналов в зонах интерференции. ИСР усиливают сигналы волн с близкими к вертикали направлениями распространения и ослабляют из других направлений.

В сложных геологических условиях при распространении падающих и отраженных волн, излученных ИСВ, изменяется ориентация плоскости лучей, вызванная влиянием строения среды и несоответствием ориентации профиля в пространстве направлению простирания пород. При этом изменяется кажущаяся скорость распространения волн, проекции точек отражения смещены от линии профиля. В связи с небольшой разрешающей способностью ИСР, из-за невозможности применения протяженных превышающих длину волны баз размещения сейсмоприемников, из-за гиперболической формы годографов, в процессе суммирования происходит осреднение, при котором определяющая роль в формировании суммарного сигнала зависит от интенсивности сигналов, распространяющихся под различными углами к вертикали. Это приводит к значительным искажениям спектра и формы сигнала, что и проявляется в неупорядоченном изменении графиков их амплитуд и формы. Поэтому надежность корреляции сигналов на записях зависит от интерференционных процессов, обусловленных наложением волн с различными значениями кажущихся скоростей, зависящих от изменчивости наклона плоскости лучей вдоль профиля.

При площадных ИСР сейсмоприемники расположены по площади и одновременно регистрируют сигналы, распределенные по поверхности волнового фронта (рис.5). Так как фазовые сдвиги вдоль фронта падающей (отраженной) волны не выходят за пределы $1/3 T$ (T -период колебаний), то суммарный сигнал площадной ИСР будет определяться, в основном, сигналами принадлежащими одной волновой поверхности. При этом необходимо учесть, что площадные ИСР обладают высокой остротой направленности, а поверхность волнового фронта

имеет большую площадь. Так, например, при 5 параллельно подключенных к косе линиях, перпендикулярных профилю и распределенных на расстояниях 5 м друг от друга и 7 последовательно подключенных сейсмоприемниках на расстояниях 3 м, площадь волнового фронта (базы регистрации) составляет 360 м². Таким образом, обеспечивается высокая статистика, избирательность и острота направленности площадных ИСР. При лабораторном суммировании описанные физические процессы отсутствуют.

Производство работ с площадными группами технологично при использовании схемы, приведенной на рис. 5. Сейсмоприемники в количестве (например) 8 шт. размещены на одной "косичке" на расстоянии dY и соединены последовательно. На соединительной линии каждого канала сделаны выводы на расстояниях dX . К ним подключены провода с приборами, которые расположены перпендикулярно профилю.



Целесообразность применения площадных групп сейсмоприемников подтверждена многолетними работами Саратовской ГЭ на территории Прикаспийской впадины. Можно ожидать, что применение площадных ИСР с использованием современных высокочувствительной и многоканальной регистрирующей аппаратуры еще более повысит эффективность группирования сейсмоприемников.

Литература

1. Васильев Ю.А., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А., Иванова Л.А., Молотова Л.В., Николаев А.В., Соколов В.Л., Хаврошкин О.Б., Цыпиков В.В., Щербо М.Н. Экспериментальное исследование сейсморадиационного напряжения в мягком грунте. / Изв. АН СССР, Физика Земли, № 1, 1986 г.
2. Васильев Ю.А., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А., Соколов В.Л., Хаврошкин О.Б., Щербо М.Н. Прямые измерения сейсморадиационного напряжения в мягком грунте. / В сб. Проблемы нелинейной сейсморазведки. М., Наука, 1987 г. с 149-152.
3. Беляков А.С., Гамбурцев А.Г., Лавров В.С., Николаев А.В., Приваловский Н.К. Иницирующие вибро-воздействия и сейсмическая эмиссия горных пород. Изв. РАН РФ, Физика Земли, № 2, 1996 г., с 68-74.
4. Николаев А.В., Павленко О.В., Яковлев А.П. Квазистатические деформации земной поверхности, вызванные вибровоздействием нелинейных свойств земных пород. Изв. АН РФ, Физика Земли, № 12, 1994, с 3-11.
5. Хараз И.И. Интерференционные источники сейсмических волн (теоретические основы и методика работ) / ИВНИИГ, Саратов, 1992, 189 с.



Электродинамический трехкомпонентный сейсмоприемник ускорений

Рыжов А.В., ВНИИГеофизика, г. Москва

В последние годы интенсивно развивается метод многоволновой сейсморазведки (МВС), основанный на совместном применении продольных, поперечных и обменных волн. В настоящее время технология МВС нуждается в новом поколении технических средств, в том числе и в сейсмоприемниках. Разработанные много лет назад электродинамические трехкомпонентные сейсмоприемники такие, как GS-3C фирмы Geo Space, PE-6/B фирмы Sensor и новый трехкомпонентный сейсмоприемник фирмы Sersel имеют несколько недостатков. Один из них заключается в том, что сейсмоприемники теряют работоспособность при небольших углах наклона (в рекламных листках этот параметр отсутствует). Еще при меньших углах наклона их КНИ выходят за допустимые пределы. Этот недостаток можно было бы устранить, установив в сейсмоприемниках преобразовательные блоки с частотой свободных колебаний 25 - 30 Гц, но стремление к расширению рабочего частотного диапазона вынуждает фирмы применять преобразовательные блоки с частотой свободных колебаний не более 10 Гц. Горизонтальные преобразовательные блоки с такой частотой теряют работоспособность при наклоне на несколько градусов. Поэтому на верхней поверхности сейсмоприемников располагают указатели уровня для точной ориентации сейсмоприемников в горизонтальной плоскости, усложняя работу по их установке в грунт. В трехкомпонентном сейсмоприемнике VectorSeis, разрабатываемый фирмой Input/Output, устранен отмеченный недостаток. Прибор измеряет свой угол наклона, сохраняя работоспособность в любом положении. Фирма, называя VectorSeis акселерометром, представила в [8] его АЧХ, совпадающую с рабочим участком АЧХ известных электродинамических сейсмоприемников. Частотный диапазон VectorSeis, определенный по его АЧХ, имеет по сравнению с электродинамическим сейсмоприемником улучшенную низкочастотную часть. В своих рекламных листках Input/Output не приводит ни графика АЧХ, ни коэффициента преобразования, а указанная величина динамического диапазона VectorSeis (105 дБ) значительно меньше динамического диапазона сейсмического канала записи современной телеметрической станции (140 дБ) и электродинамического сейсмоприемника (146 дБ).

Главный же недостаток рассмотренных сейсмоприемников заключается в том, что их АЧХ не совпадает со спектром сейсмического сигнала. Проведенные в последнее время сейсмические исследования, с вибрационными источниками [6, 9], выявили преимущества применения в сейсморазведке акселерометров или сейсмоприемников ускорений (выходные сигналы, пропорциональны ускорениям перемещений изучаемой среды) в сравнении с применяемыми электродинамическими сейсмоприемниками скорости (выходные сигналы, пропорциональны скорости перемещений среды). Увеличение разрешающей способности сейсмоприемника ускорений можно объяснить тем, что для спектров

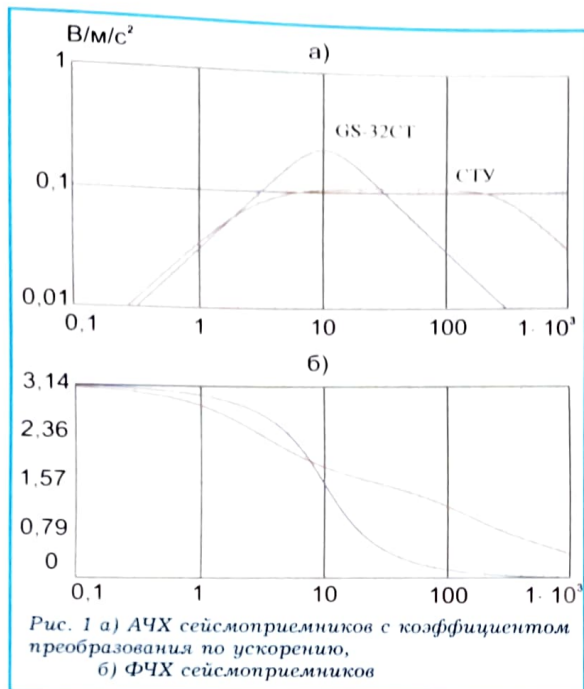
сигналов сейсмических вибрационных источников его АЧХ совпадает с АЧХ согласованного фильтра. Ни АЧХ сейсмоприемника скорости и, тем более, АЧХ сейсмоприемника перемещений не согласованы со спектрами сигналов сейсмических источников. Можно дать и другое объяснение увеличению разрешающей способности сейсмоприемника ускорений, рассматривая изучаемую геологическую среду как информационный канал [1], передающий сигнал от вибрационного источника, установленного на входе канала, к сейсмоприемнику, установленному на его выходе. Если не учитывать уменьшение уровня сигнала с увеличением расстояния из-за расхождения фронта волны, то можно сделать предположение о том, что передаточная функция такого канала равна единице. Обеспечив постоянную амплитуду периодической силы, прилагаемой к излучающей плите вибратора для любой частоты сигнала, получим в соответствии с основным законом механики на поверхности наблюдения, где установлен сейсмоприемник, выходной сигнал, пропорциональный ускорению перемещений. Сейсмоприемник ускорений преобразует эти сигналы без искажений, а вот сейсмоприемник скорости с АЧХ в виде равнобедренного треугольника с вершиной на частоте свободных колебаний (рис. 1а), имея до и после этой частоты крутизну среза 6 дБ на октаву, снижает уровень как низкочастотных, так и высокочастотных составляющих сейсмического сигнала и, тем самым, уменьшает потенциальную разрешающую способность информационного канала.

В перечень основных технических требований, предъявляемых к новым разрабатываемым трехкомпонентным сейсмоприемникам для МВС, первым должно входить требование о том, что выходные сигналы преобразовательных блоков сейсмоприемника должны быть пропорциональны ускорениям перемещений изучаемой среды в частотном диапазоне, перекрывающем частотный диапазон сейсмического сигнала. Этот перечень должен содержать такие требования, как расположение осей максимальной чувствительности преобразовательных блоков по осям прямоугольной системы координат XYZ; наибольший коэффициент преобразования; наименьшая амплитуда воспринимаемого ускорения, по крайней мере, в два раза меньше амплитуды ускорения, преобразованного сейсмоприемником в напряжение, равное напряжению, создаваемому в сейсмическом канале записи собственным шумом, приведенным к входу канала; динамический диапазон, перекрывающий диапазон сейсмического сигнала; малый коэффициент нелинейных искажений; большой предельный угол наклона; наименьшая масса сейсмоприемника.

В соответствии с этими требованиями во ВНИИГеофизике разработан новый электродинамический трехкомпонентный сейсмоприемник ускорений или сейсмоприемник трехкомпонентных ускорений (СТУ). Конструкция преобразовательного блока СТУ рассмотрена в [2].



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Основные свойства СТУ определяет передаточная функция его преобразовательного блока. Найдем передаточную функцию этого блока из его электромеханической схемы, взятой из [4] и изображенной на рис. 2. (В схеме не учтены емкости между обмоткой и короткозамкнутым каркасом, между обмотками и корпусом, а также распределенные емкости между витками обмоток). На схеме обозначены: генератор переменной внешней силы - F , масса преобразовательного блока - m , масса катушки - M , жесткость пружины - K , перемещение преобразовательного блока - X_k , относительное перемещение магнитной системы преобразовательного блока и катушки - X_p . Электродинамические преобразователи двух обмоток (каждая с коэффициентом преобразования K_m) преобразуют скорость относительного перемещения магнитной системы преобразовательного блока и катушки в ЭДС, развиваемые на концах обмоток. Каждая обмотка имеет индуктивность L_i , сопротивление R_i и количество витков n_i . Выходной сигнал сейсмоприемника без шунтирующего сопротивления равен сумме ЭДС, создаваемых двумя последовательно соединенными обмотками, а с сопротивлением R_m равен напряжению, производимому током I_p , протекающим через R_m . Каждый из двух электродинамических преобразователей короткозамкнутого каркаса катушки, имеющий коэффициент

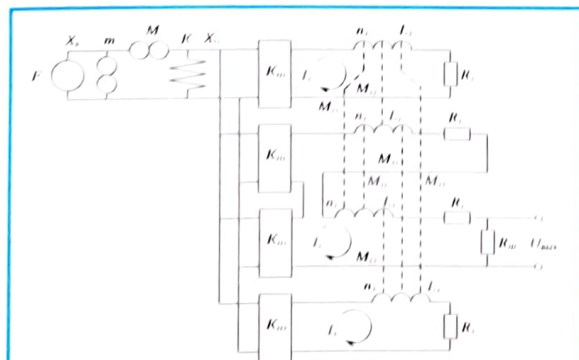


Рис. 2 Электромеханическая схема сейсмоприемника

преобразования K_{m2} , индуктивность L_2 и сопротивление R_2 , преобразует скорость относительного перемещения магнитной системы и катушки в ток I_2 . Токи I_1 , протекающие в двух каркасах, обеспечивают заданную степень затухания в сейсмоприемнике. Обмотки и каркасы вместе с магнитной системой составляют трансформатор. В [4] установлено, что наибольшие взаимные индуктивности M_{12} в этом трансформаторе имеют обмотка и каркас, расположенные в одном воздушном зазоре между двумя коаксиальными цилиндрами, полюсным наконечником, установленным на постоянном магните, и полюсным наконечником, установленным в магнитопроводе магнитной системы. Наименьшие взаимные индуктивности имеют обмотка-обмотка M_{11} , каркас-каркас M_{22} , и обмотка-каркас M_{21} и M_{12} , расположенные в разных воздушных зазорах. Каждая из взаимных индуктивностей M_{11} , M_{22} , M_{21} или M_{12} более чем на порядок меньше M_{12} . Последнее объясняется тем, что магнитная цепь этих связей включает постоянный магнит, имеющий магнитную проницаемость, превышающую магнитную проницаемость воздуха всего лишь в 2 - 3 раза. Экспериментальные исследования показали, что коэффициент индуктивной связи K_c между обмотками, расположенными в разных воздушных зазорах магнитной системы, составляет не более 0,05. Коэффициент индуктивной связи между теми же обмотками, расположенными в одном воздушном зазоре той же магнитной системы, выражается известным отношением:

$$K_c^2 = M_{12}^2 / L_1 L_2 \quad (1)$$

близким к единице. Поэтому, пренебрегая в первом приближении взаимными индуктивностями M_{11} , M_{22} , M_{21} и M_{12} , составим сигнальный граф сейсмоприемника, изображенный на рис. 3. В сравнении с электромеханической схемой сигнальный граф наиболее полно отражает связи, существующие в сейсмоприемнике, и является геометрическим изображением системы уравнений, представленных передаточными функциями его ветвей. Применяя способ последовательного упрощения графа, или по правилу Мейсона (S.J. Mason), найдем из сигнального графа сейсмоприемника его передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{U_{max}}{pX_k} = \frac{acd(2b + 2fg)}{1 + 2bcep(2b + 2fg) + efp(2bh + 2f)} \quad (2)$$

В передаточной функции (2) учтено то, что обратные связи $2bcep(2b + 2fg)$ и $efp(2bh + 2f)$ - отрицательные. Отрицательный знак обратной

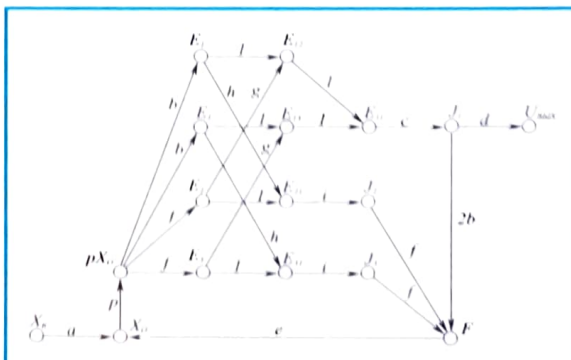
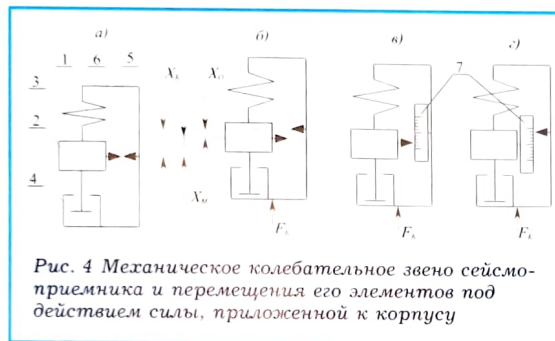


Рис. 3 Сигнальный граф сейсмоприемника



связи определяется тем, что ток, возникающий в обмотках или короткозамкнутых каркасах при движении катушки в магнитном поле воздушных зазоров магнитной системы, создает силу, препятствующую этому относительному движению.

В сейсмоприемнике основным является механическое колебательное звено. Звено изображено на рис. 4. С корпусом 1 соединена пружина 2. Второй конец пружины связан с инерционным телом 3. Демпфер 4 осуществляет затухание свободных колебаний инерционного тела относительно корпуса. Жесткость пружины равна K , масса инерционного тела равна M , а затухание, создаваемое демпфером, пропорционально коэффициенту H . Указатели 5, 6 и шкала 7 позволяют наблюдать относительные перемещения корпуса и инерционного тела. Механическое колебательное звено применяется в сейсмоприемнике, как в режиме двигателя, так и в режиме генератора.



Входной сигнал механического колебательного звена, действующего в режиме двигателя, - это сила F , приложенная к инерционному телу, а выходной сигнал звена - перемещение инерционного тела относительно корпуса X_o , равное в этом режиме X_m . В режиме двигателя уравнение движения механического колебательного звена имеет известный [5] вид:

$$M\ddot{X}_o + H\dot{X}_o + KX_o = F \quad (3)$$

Придадим уравнению движения (3) операторную форму записи и из нее найдем передаточную функцию механического колебательного звена как отношение сигнала на выходе звена X_o к силе F :

$$W(p) = \frac{X_o}{F} = \frac{1}{K(t_0^2 p^2 + 2bt_0 p + 1)} \quad (4)$$

где $t_0 = 1/\omega_0 = \sqrt{M/K}$ - постоянная времени звена; $b = H/(2Kt_0)$ - степень затухания; $\omega_0 = 2\pi f_0$ - круговая частота свободных колебаний; f_0 - частота свободных колебаний.

Входной сигнал механического колебательного звена, действующего в режиме генератора, - это перемещение корпуса X_k (или его производные), а выходной сигнал звена - относительное перемещение инерционного тела и корпуса - X_o (или его производные). Дифференциальное уравнение движения механического колебательного звена в режиме генератора может быть получено как в инерциальной системе координат (находящейся в состоянии покоя или движущейся с постоянной скоростью), так и в неинерциальной системе (движущейся с ускорением). Вывод уравнения движения в неподвижной инерциальной системе звена начнем с того, что приложим постоянную силу к корпусу

неподвижного звена, находящегося в состоянии покоя. Это состояние выбрано потому, что в таком положении звена известны начальные условия: скорости равны нулю, а пройденный путь от начала координат как корпуса, так и инерционного тела в момент времени t , также равен нулю. Если же рассматривать движение корпуса и инерционного тела в произвольный момент времени, то необходимо знать или уметь вычислить, или измерить параметры их движений: пройденные пути и скорости. Под действием постоянной силы за сколь угодно малый промежуток времени t корпус, двигаясь равноускоренно, начнет разгонять инерционное тело растягиваемой пружины и силой, создаваемой вязким трением. Рассматриваемый промежуток времени t можно взять и не бесконечно малым, но не более доли постоянной времени звена. В тот момент времени, когда пружина растянется на величину, равную $X_o = \dot{X}_o t^2/2$, она создаст силу, равную KX_o . В этот же момент времени скорость перемещения корпуса относительно инерционного тела будет равна $X_o = \dot{X}_o t$ и вязкое трение создаст силу, также приложенную к инерционному телу и равную $H\dot{X}_o$. Под действием суммы этих двух сил инерционное тело в рассматриваемый момент времени будет двигаться с ускорением $\ddot{X}_m$, определяемым основным законом механики:

$$M\ddot{X}_m = H\dot{X}_o + KX_o \quad (5)$$

Уравнение (5) справедливо для равноускоренного движения механического колебательного звена, начавшего это движение из начального положения - состояния покоя под действием на корпус звена постоянной силы. И такого понимания уравнения (5) достаточно для последующего получения дифференциального уравнения движения звена.

Если равноускоренное движение звена будет продолжаться достаточно долго, то тогда, после окончания переходного процесса, ускорение инерционного тела $\ddot{X}_m$ станет равным ускорению корпуса $\ddot{X}_k$. А в начале переходного процесса в промежуток времени, составляющий долю постоянной времени звена, ускорение $\ddot{X}_m$ будет меньше ускорения $\ddot{X}_k$ на величину ускорения перемещения корпуса относительно инерционного тела $\ddot{X}_o$ и, следовательно, будет справедливо равенство:

$$\ddot{X}_m = \ddot{X}_k - \ddot{X}_o \quad (6)$$

Подставив в (5) вместо ускорения $\ddot{X}_m$ его выражение из (6), получим дифференциальное уравнение движения механического колебательного звена в режиме генератора в инерциальной системе координат:

$$M\ddot{X}_o + H\dot{X}_o + KX_o = M\ddot{X}_k \quad (7)$$

Изложенный способ вывода дифференциального уравнения движения механического колебательного звена не требует применения равенства, связывающего перемещения X_k , X_m и X_o . Это равенство можно получить, дважды проинтегрировав уравнение (6) и определив постоянные интегрирования из начальных условий (когда время равно нулю, тогда и все перемещения и скорости равны нулю).

Правая часть дифференциального уравнения движения механического колебательного звена



(7) содержит положительный знак и это явно не инвертирует входной сигнал. Соединив механическое колебательное звено с преобразователем, получим сейсмоприемник. В зависимости от присоединенного преобразователя сейсмоприемник будет инвертировать или не инвертировать входной сигнал. На рис. 4 изображены "наблюдательные" преобразователи: инвертирующий - в виде шкалы, размещенной на корпусе (рис. 4в), и неинвертирующий - в виде шкалы, размещенной на инерционном теле (рис. 4г).

Итак, правая часть дифференциального уравнения движения механического колебательного звена может быть только положительной.

Придадим уравнению движения (7) операторную форму записи и из этой формы уравнения найдем передаточную функцию механического колебательного звена как отношение сигнала на выходе звена X_o к входному сигналу X_i :

$$W(p) = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\tau_0^2 p^2}{\tau_0^2 p^2 + 2\beta\tau_0 p + 1} \quad (8)$$

Приравняв нулю степень затухания в передаточной функции (8), получим передаточную функцию ветви а:

$$a = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\tau_0^2 p^2}{\tau_0^2 p^2 + 1} \quad (9)$$

Ветвь б имеет передаточную функцию электродинамического преобразователя одной обмотки и выражается формулой:

$$b = \frac{E_1}{pX_o} = K_{m1} \quad (10)$$

Ветвь д отображает передаточную функцию сопротивления шунта:

$$d = \frac{U_{вых}}{I_1} = R_{ш} \quad (11)$$

Приравняв нулю степень затухания в передаточной функции (4), получим передаточную функцию ветви е:

$$e = \frac{X_o}{F} = \frac{1}{K(\tau_0^2 p^2 + 1)} \quad (12)$$

Ветвь ф отображает передаточную функцию электродинамического преобразователя одного короткозамкнутого кольца:

$$f = \frac{E_2}{pX_o} = \frac{F}{I_2} = K_{m2} \quad (13)$$

Ветвь р выражается передаточной функцией дифференцирующего оператора:

$$p = \frac{pX_o}{X_o} = \frac{d}{dt} = j\omega \quad (14)$$

Передаточную функцию ветви с, входной проводимости трансформатора со стороны двух обмоток, соединенных последовательно, найдем из системы уравнений, составленных по электро-механической схеме сейсмоприемника (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} E_{11} &= I_1(2R_1 + 2L_1 p + R_{ш}) + I_2 M_{12} p + I_3 M_{13} p \\ 0 &= I_1 M_{12} p + I_2(R_2 + L_2 p) \\ 0 &= I_1 M_{13} p + I_3(R_3 + L_3 p) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Решив систему уравнений (15), после преобразований получим:

$$c = \frac{I_1}{E_{11}} = \frac{1}{R + R_{ш}} \cdot \frac{\tau_1 p + 1}{\tau_1 \tau_2 (1 - K_c^2) p^2 + (\tau_1 + \tau_2) p + 1} \quad (16)$$

где $R = 2R_1$, $\tau = 2L_1 / (R + R_{ш})$, $\tau_1 = L_1 / R = L_1 / R$.

Полагая K_c из (1) равным единице, получим:

$$c = \frac{1}{R + R_{ш}} \cdot \frac{\tau_1 p}{(\tau_1 + \tau_2) p + 1} \quad (17)$$

Аналогично найдем передаточную функцию ветви i, входной проводимости трансформатора со стороны короткозамкнутого каркаса, из системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} E_{21} &= I_1 M_{12} p + I_2(R_2 + L_2 p) \\ 0 &= I_1(2R_1 + 2L_1 p + R_{ш}) + I_2 M_{12} p + I_3 M_{13} p \\ 0 &= I_1 M_{13} p + I_3(R_3 + L_3 p) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где E_{21} - сумма ЭДС короткозамкнутого каркаса и ЭДС, передаваемой индуктивной связью обмотка-каркас.

Решив систему уравнений (18), получим:

$$i = \frac{I_2}{E_{21}} = \frac{1}{R_2} \cdot \frac{0,5\tau_1\tau_2 p^2 + (\tau_1 + \tau_2)p + 1}{(\tau_1 p + 1)[(\tau_1 + \tau_2)p + 1]} \quad (19)$$

Передаточную функцию ветви g, индуктивной связи короткозамкнутого каркаса катушки с обмоткой, найдем из системы уравнений, составленных по электро-механической схеме сейсмоприемника (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} E_2 &= I_2(R_2 + L_2 p) \\ E_{12} &= I_2 M_{12} p \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Ток протекает только в контуре, содержащем ЭДС E_2 . В двух других контурах ток отсутствует.

Решив систему уравнений (20), получим:

$$g = \frac{E_{12}}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\tau_2 p}{\tau_2 p + 1} \quad (21)$$

Аналогично найдем передаточную функцию ветви h, индуктивной связи обмотки с короткозамкнутым каркасом, из системы уравнений, составленных по электро-механической схеме сейсмоприемника (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= I_1(2R_1 + 2L_1 p + R_{ш}) + I_3 M_{13} p \\ 0 &= I_1 M_{13} p + I_3(R_3 + L_3 p) \\ E_{21} &= I_1 M_{12} p \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Ток в разомкнутом контуре, содержащем ЭДС E_{21} , отсутствует. Решив систему уравнений (22), получим:

$$h = \frac{E_{21}}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{0,5\tau_1\tau_2(\tau_1 p + 1)}{0,5\tau_1\tau_2 p^2 + (\tau_1 + \tau_2)p + 1} \quad (23)$$

Необходимо отметить одну особенность полученных передаточных функций (21), (23). В них отсутствует отрицательный знак. Ранее в [4] было сделано предположение о том, что индуктивная связь, действующая в электро-динамическом сейсмоприемнике между каркасом и обмоткой катушки, поворачивает фазу сигнала на 180°. Это предположение позволило упростить промежуточные преобразования и снизить степень многочлена знаменателя передаточной функции сейсмоприемника. Вычисленная передаточная функция сейсмоприемника скорости и построенная по ней АЧХ совпали с полученной ранее в [7] другим способом передаточной функцией и АЧХ такого же сейсмоприемника. Совпадение результатов теоретических исследований, казалось, подтвердили сделанное предположение. Но проведенные в дальнейшем новые теоретические исследования, а затем и экспериментальные выявили индуктивная связь, действующая в электро-динамическом сейсмоприемнике между каркасом и обмоткой катушки, не поворачивает фазу сигнала на 180°. Поэтому вывод передаточ-



ной функции сейсмоприемника в настоящей работе, начиная с системы уравнений (20), отличается от вывода, проведенного в [4].

Итак, получив передаточные функции всех ветвей сигнального графа, изображенного на рис. 3, найдем передаточную функцию преобразовательного блока электродинамического сейсмоприемника, подставив значение ветвей из (9) – (14), (17), (19), (21) и (23) в сигнальный граф (2).

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}}{pX_k} = \frac{R_{\text{ш}}}{R + R_{\text{ш}}} \cdot \frac{K_{\text{ш}} \tau_0^2 (2\tau_2 p + 1) \cdot (\tau_0 p + 1) p^2}{\Sigma} \quad (24)$$

где $K_{\text{ш}} = 2K_{\text{ш}}'$; $R = 2R_0$;

$$\Sigma = p^4 \tau_0^2 (\tau_1 + \tau_2) \tau_2 + p^3 \tau_0^2 \left[2\beta_1 \cdot \frac{\tau_2^2}{\tau_0} + 2\beta_2 \cdot \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_0^2} + \frac{\tau_1 + 2\tau_2}{\tau_0} \right] +$$

$$+ p^2 \tau_0^2 \left[1 + 2\beta_1 \cdot \frac{3\tau_2}{\tau_0} + \beta_2 \cdot \frac{3\tau_1 + 2\tau_2}{\tau_0} + \frac{\tau_2 (\tau_1 + \tau_2)}{\tau_0^2} \right] +$$

$$+ p \tau_0^2 \left(2\beta_1 + 2\beta_2 + \frac{\tau_1 + 2\tau_2}{\tau_0} \right) + 1$$

– многочлен четвертой степени, где $\beta_1 = K_{\text{ш}}^2 \tau_0 / 2m(R + R_{\text{ш}})$ – степень затухания сейсмоприемника от тока, протекающего через обмотку; $\beta_2 = K_{\text{ш}}^2 \tau_0 / 2mR_0$ – степень затухания, обеспечиваемая током в одном короткозамкнутом каркасе.

Определение параметров и анализ системы с передаточной функцией, представленной в виде (24), затруднительны. Как известно из теории автоматического управления [5], для того, чтобы определить параметры системы, ее передаточную функцию представляют в виде произведения передаточных функций элементарных звеньев. С этой целью многочлены числителя и знаменателя разлагают на простые (не выше второго порядка) множители вида τp , $(\tau p + 1)$, $(\tau p^2 + 2\beta \tau p + 1)$, соответствующие передаточным функциям элементарных звеньев (дифференцирующему, апериодическому, колебательному и т.п.).

В многочлене знаменателя разрабатываемого сейсмоприемника τ и β будут равны нулю, т.к. сопротивление шунта $R_{\text{ш}}$ бесконечно. Тогда:

$$\Sigma = \tau_0^2 \tau_2^2 p^4 + 2\tau_0^2 \tau_2 p^3 + \left(1 + 2\beta_2 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_0} + \frac{\tau_2^2}{\tau_0^2} \right) \cdot \tau_0^2 p^2 +$$

$$+ \left(1 + \frac{\tau_2}{\beta_2 \tau_0} \right) \cdot 2\beta_2 \tau_0 p + 1 \quad (25)$$

Многочлен, близкий к Σ , имеет произведение передаточных функций

$$(\tau_0^2 p^2 + 2\beta_2 \tau_0 p + 1) \cdot (\tau_0 p + 1) \cdot (\tau_0 p + 1).$$

После умножения получим:

$$\Sigma_1 = \tau_0^2 \tau_2^2 p^4 + \left(1 + \frac{\tau_2}{\tau_0} \right) \cdot 2\tau_0^2 \tau_2 p^3 + \left(1 + 4\beta_2 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_0} + \frac{\tau_2^2}{\tau_0^2} \right) \cdot \tau_0^2 p^2 +$$

$$+ \left(1 + \frac{\tau_2}{\beta_2 \tau_0} \right) \cdot 2\beta_2 \tau_0 p + 1 \quad (26)$$

Многочлен Σ из (25) будет иметь хорошее приближение к многочлену Σ_1 из (26) только тогда, когда $4\beta_2 \tau_2 / \tau_0$ будет значительно меньше единицы (или когда τ_2 будет стремиться к нулю). В разрабатываемом сейсмоприемнике реальная постоянная времени τ_2 имеет конечное значение, и многочлен Σ будет иметь другое, отличающееся от (26), разложение на простые множители. Значение τ_2 зависит от параметров двух короткозамкнутых каркасов и размеров воздушных зазоров:

$$\tau_2 = 2L_2 / R_2, \quad (27)$$

где L_2 / R_2 – постоянная времени, создаваемая одним каркасом. Сопротивление каркаса R_2 найдем по известной формуле: $R = \rho l / S$, а его индуктивность по формуле: $L_2 = G_2 n_2^2$, где $n_2^2 = 1$. Магнитная проводимость G будет составлять приблизительно четверть от магнитной проводимости $(\sigma - 1)G$ (две половины проводимости для магнитного потока, протекающего вне воздушного зазора, соединены последовательно). Магнитная проводимость G воздушного зазора найдем по известной формуле: $G = \mu l / \sigma \Delta$. Подставив полученную зависимость L_2 от проводимости G и зависимость R_2 от параметров каркаса, найдем:

$$\tau_2 = \frac{\mu_0 S L_2 \sigma (\sigma - 1)}{2 \Delta \rho} \quad (28)$$

Значение τ в первом приближении можно получить по формуле (28) уже разработанных сейсмоприемников. Подставив численные значения τ , τ и β в многочлен Σ и приравняв его нулю, можно найти корни полученного уравнения четвертой степени. Для разрабатываемого сейсмоприемника значение постоянной времени τ еще не известно. Составим ряд последовательно увеличивающихся значений τ . Выбрав значение частоты собственных колебаний 22 Гц ($\tau = 7,23 \cdot 10^{-5}$ с) и степени затухания 3,5 и задавшись наименьшим значением постоянной времени τ , равной $2 \cdot 10^{-5}$ с, составим уравнение для сейсмоприемника ускорений:

$$20,92 \cdot 10^{-15} p^4 + 20,92 \cdot 10^{-10} p^3 + 5,83 \cdot 10^{-5} p^2 +$$

$$+ 5,06 \cdot 10^{-2} p + 1 = 0$$

Сохраняя постоянными τ и β и последовательно увеличивая в два раза значение τ в многочлене Σ , составим ряд таких уравнений. Вычисленные корни этих уравнений представлены в таблице 1.

Таблица 1

τ_2 , с	Корни уравнения, с ⁻¹			
	X_1	X_2	X_3	X_4
$2 \cdot 10^{-5}$	-20,20	-966	-48607	-50406
$4 \cdot 10^{-5}$	-20,16	-989	-23732	-25259
$8 \cdot 10^{-5}$	-20,13	-1036	-11597	-12347
$16 \cdot 10^{-5}$	-20,12	-1176	-6264	-5040
$32 \cdot 10^{-5}$	-20,06	-3140	-1545-760i	-1545+760i
$64 \cdot 10^{-5}$	-19,90	-1582	-762-950i	-762+950i
$128 \cdot 10^{-5}$	-19,60	-805	-365-776i	-365+776i

Итак, получив разложение многочлена Σ для любых значений τ , найдем передаточную функцию преобразовательного блока сейсмо-

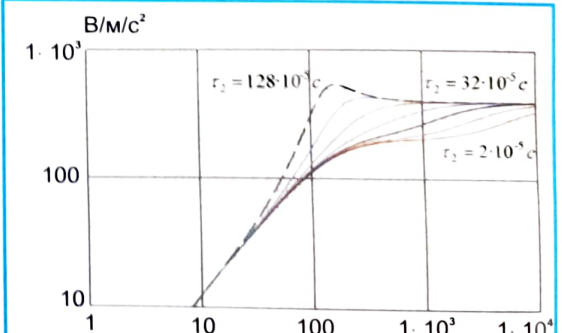


Рис. 5 АЧХ преобразовательного блока в зависимости от постоянной времени

приемника ускорений, подставив в (24) разложение Σ в виде произведения передаточных функций четырех аperiodических звеньев:

$$W(p) = \frac{K_{\text{пт}} t_0^2 (2t_2 p + 1) (t_2 p + 1) p^2}{(p X_1 + 1) \cdot (p X_2 + 1) \cdot (p X_3 + 1) \cdot (p X_4 + 1)} \quad (29)$$

Когда t_2 имеет малые значения, тогда $1/X_3$ и $1/X_4$ становится приблизительно равными t_2 (таблица 1), $1/X_1$ равным $t_0/2\beta_2$, а $1/X_2$ равным $t_0/2\beta_2$, и передаточная функция (29) принимает вид:

$$W(p) = \frac{K_{\text{пт}} t_0^2 (2t_2 p + 1) p^2}{(2\beta_2 t_0 p + 1) \cdot (t_0 p / 2\beta_2 + 1) \cdot (t_2 p + 1)} \quad (30)$$

У сейсмоприемника с передаточной функцией (30) участок частотного диапазона по ускорению перемещения становится равным $D_0 = 4\beta_2^2$.

Оценку частотных диапазонов при других значениях t_2 проведем, построив АЧХ сейсмоприемников ускорений.

Формула АЧХ сейсмоприемника ускорений с передаточной функцией (29) будет иметь вид:

$$W(\omega) = \frac{K_{\text{пт}} t_0^2 \omega^2 \sqrt{2t_2^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{t_2^2 \omega^2 + 1}}{\sqrt{\omega^2 X_1^2 + 1} \cdot \sqrt{\omega^2 X_2^2 + 1} \cdot \sqrt{\omega^2 X_3^2 + 1} \cdot \sqrt{\omega^2 X_4^2 + 1}} \quad (31)$$

На рис. 5 изображены графики АЧХ для значений t_2 : $2 \cdot 10^{-5}$ с, $4 \cdot 10^{-5}$ с, $8 \cdot 10^{-5}$ с, $16 \cdot 10^{-5}$ с, $32 \cdot 10^{-5}$ с, $64 \cdot 10^{-5}$ с и $128 \cdot 10^{-5}$ с (таблица 1). С увеличением t_2 частотный диапазон по ускорению расширяется, и самым широким он будет у сейсмоприемника со значением $t_2 = 32 \cdot 10^{-5}$ с.

Рассмотрим ФЧХ сейсмоприемника ускорений. Сейсмоприемник с передаточной функцией (29) будет иметь формулу ФЧХ в виде:

$$j(\omega) = p + \arctg 2\omega t_2 + \arctg \omega t_2 - \arctg \frac{\omega}{X_1} - \arctg \frac{\omega}{X_2} - \arctg \frac{\omega}{X_3} - \arctg \frac{\omega}{X_4} \quad (32)$$

На рис. 16 изображены графики ФЧХ сейсмоприемника GS-32СТ и СТУ.

Полученные результаты проведенных теоретических исследований стали основанием для разработки электродинамического сейсмоприемника трехкомпонентных ускорений СТУ. Разработанный СТУ имеет параметры: частотный диапазон - от 3 до 250 Гц, динамический диапазон - 150 дБ (на частоте 10 Гц), коэффициент преобразования по ускорению - $0,1 \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-1}$, КНИ - 0,01%, предельный угол наклона - 90° , сопротивление обмотки катушки - 2200 Ом, масса преобразовательного блока - 160 г, масса сейсмоприемника - 850 г. Оси максимальной чувствительности преобразовательных блоков расположены по осям координат XYZ.

Проведенные полевые испытания подтвердили: разрешающая способность СТУ выше, чем у сейсмоприемника скорости.

Следует отметить два недостатка разработанного СТУ: большое сопротивление обмотки и небольшой коэффициент преобразования. Эти недостатки могут быть устранены увеличением габаритных размеров и массы преобразовательного блока сейсмоприемника.

Следует также подчеркнуть особенности разработанного СТУ.

Его полосовая АЧХ является характеристикой фильтра, согласованного со спектром сейсмического сигнала. Никакой другой известный сейсмоприемник, включая и пьезоэлектрический,

не имеет такой АЧХ.

Выбранная частота свободных колебаний механического колебательного звена 22 Гц позволила обеспечить в СТУ предельный угол наклона 90° , а вместе с действующей в преобразовательном блоке степенью затухания 3,7 дала бы возможность получить расчетный частотный диапазон от 3 (22/3,7/2) до 160 (22·2,3,7) Гц. Обнаруженный в сейсмоприемнике ускорений дефект, связан с изломом АЧХ, вызванным индуктивной связью между каркасом и обмоткой и определяемым постоянной времени t_2 . Этот "дефект" превращен в "эффект" соответствующим выбором значения t_2 , позволившем расширить частотный диапазон до 250 Гц.

Получение в сейсмоприемнике ускорений большой степени затухания заставило перераспределить объем воздушного зазора, оставив меньшую его долю для размещения обмотки, и длина паза для размещения обмотки в каркасе катушки стала меньше длины полюсного наконечника. С одной стороны это привело к нежелательному уменьшению коэффициента преобразования сейсмоприемника, а с другой позволило снизить его КНИ до 0,01%.

Максимальный сигнал на выходе СТУ зависит от частоты и будет наименьшим на нижней границе частотного диапазона и наибольшим на его верхней границе. Поэтому динамический диапазон, принимаемый как отношение максимального сигнала к создаваемому обмоткой СТУ тепловому шуму, имеющему постоянное значение, будет пропорционален максимальному сигналу. Так как ход катушки в преобразовательном блоке СТУ как и в электродинамическом сейсмоприемнике скорости равен 2 мм, то максимальное амплитудное значение перемещения корпуса, равное 1 мм на частоте 160 Гц, будет увеличиваться пропорционально снижению частоты и на частоте 10 Гц составит 16 мм. Расположенный вблизи сейсмического источника электродинамический сейсмоприемник скорости будет ограничивать сигналы с амплитудными перемещениями корпуса, превышающими 1 мм в рабочей полосе частот, а СТУ, расположенный там же, будет преобразовывать с нормированным КНИ сигналы с перемещениями, увеличенными на порядок.

Литература

1. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. М.: Недра. 1980.
2. Рыжов А.В. Новый электродинамический сейсмоприемник ускорений// Приборы и системы разведочной геофизики. - Саратов: Издательство Полиграф-Депо. 2002, № 2.
3. Рыжов А.В. Ответы на замечания к статьям по теории сейсмоприемников// Геофизика. М.: Издательство Герс. 2001, № 2.
4. Рыжов А.В. Теоретические исследования сейсмоприемников// Геофизика. М.: Издательство Герс. 1997, № 3.
5. Теория автоматического управления. Ч. 1. Под ред. Воронова А.А. М.: Высшая школа. 1977.
6. Теория и практика наземной неаварийной сейсморазведки, под ред. Шнейерсона М.Б., 1998: М., Недра.
7. Шведчиков Л.К. Теория электродинамического сейсмоприемника с учетом индуктивных связей между обмотками и проводящим каркасом подвижной катушки.// Прикладная геофизика. М.: Недра. 1979. Вып. 95.
8. Maxwell P., Tessman J., Reichert B., 2001, Design through to production of MEMS digital accelerometer for seismic acquisition: First break, volume 19.3.
9. Отчет ОМФ-12/92-93 ЦГЭ "Повышение эффективности работ МОГТ и ВСП", государственная регистрация № 1-92-18/7.

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА ПОЗДРАВЛЯЕТ ВСЕХ НАШИХ ЧИТАТЕЛЕЙ
С НОВЫМ 2005 ГОДОМ и РОЖДЕСТВЕНСКИМИ ПРАЗДНИКАМИ!
И НАМ ПРИСОЕДИНЯЮТСЯ НАШИ ПОСТОЯННЫЕ ПАРТНЕРЫ

Подход со знанием дела
ЗАО "Сейс Эл"
Москва,
Зеленоград
Т. (095) 531-52-58
e-mail: zimad@yandex.ru

Проведи хороший тон
И используй **ГЕОТОН**
ООО "Бирма "ГЕОСЕЙС"
Москва
Т. (095) 202-32-17
e-mail: geoton@geoton.ru

Специально!
И только для Вас -
Точность,
надежность
и класс!
ООО "Специальные
геофизические
системы"
Саратов
Т. (8452) 64-45-48
e-mail: sgsgeo@mail.ru

Стабильность
Качество
Безотказность
Сервис
Профессионализм
ОАО СБС СП
Саратов
Т. (8452) 64-14-52
e-mail: skbsp@san.ru

Богатство недр
увидеть и понять
ОАО "Саратовнефтегеофизика"
Т. (8452) 64-26-45
Саратов
e-mail: sng@san.ru

Per
aspera
ad
astra
ЗАО "Геофизическая
компания
"ДЕЛЬТА-ЛОГ"
Саратов
Т. (8452) 75-23-18
e-mail: office@deltalog.terra.ru

Наш источник -
Источник Вашего успеха
ЗАО "ГЕОСВИП",
Москва
Т. (095) 264-67-87
Ф. (095) 264-66-87
e-mail: jsc.geosvip@relcom.ru

Геофизиков России
поздравляем с Новым Годом!
И желаем мы удачи
И желаем мы удачи
им в нелегкой их работе!
А свои мы обещания
будем твердо выполнять -
Геофоны точно к сроку
Для работы поставлять
ООО "ОЙО-ГЕО"
Импульс Интернэшнл", Уфа
Т. (3472) 24-73-44
e-mail: geolimp@ufanet.ru

Успех возможен,
если контакту надежны
ЗАО "Соединитель"
Ижевск
Т. (35135) 2-72-13
e-mail: adn@chel.svecom.ru

В любом сезоне
работаем в **X-Zone**
ООО "СИ Технолоджи
Инструментс"
Геленджик
Т. (86141) 5-44-33
Ф. (86141) 5-23-18
e-mail: si@intromarin.ru

СЭМЫ и КЭМЫ
решат все проблемы
ОАО "Енисейгеофизика"
Енисейск
Т. (39115) 2-54-30
Ф. (39115) 2-54-30
e-mail: egi@mail333.com

Желаем в Новом Году успехов
и партнерства, реализации проектов
и создания конкурентоспособных
информационных систем
используя и развивая традиции!
ФГУП СНИИГТИМС
Т. (3832) 22-07-29
e-mail: som@sniggms

Там где другие
не пройдут...
ФГУП "Саратовская
геофизическая
экспедиция"
Саратов
Т. (8452) 75-23-18
e-mail: sge@renet.com.ru

	ЯНВАРЬ				ФЕВРАЛЬ				МАРТ				АПРЕЛЬ				МАЙ				ИЮНЬ				ИЮЛЬ				АВГУСТ				СЕНТЯБРЬ				ОКТАБРЬ				НОЯБРЬ				ДЕКАБРЬ				
ПН.	3	10	17	24	31	7	14	21	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	ПН.	
ВТ.	4	11	18	25		1	8	15	22	1	8	15	22	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	6	13	20	27	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	ВТ.					
СР.	5	12	19	26	2	9	16	23	30	2	9	16	23	6	13	20	27	4	11	18	25		1	8	15	22	7	14	21	28	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	СР.					
ЧТ.	6	13	20	27	3	10	17	24	31	3	10	17	24	7	14	21	28	5	12	19	26		2	9	16	23	8	15	22	29	6	13	20	27	4	11	18	25		3	10	17	24	ЧТ.					
ПТ.	7	14	21	28	4	11	18	25		4	11	18	25	8	15	22	29	6	13	20	27		3	10	17	24	9	16	23	30	7	14	21	28	5	12	19	26		4	11	18	25	ПТ.					
СБ.	1	8	15	22	29	5	12	19	26	5	12	19	26	9	16	23	30	7	14	21	28		4	11	18	25	10	17	24	31	8	15	22	29	6	13	20	27		5	12	19	26	СБ.					
ВС.	2	9	16	23	30	6	13	20	27	6	13	20	27	10	17	24	31	8	15	22	29		5	12	19	26	11	18	25		9	16	23	30	7	14	21	28		6	13	20	27	ВС.					

Возможности сейсморазведки на основе группирования источников "Геотон"

Анкушев В.В., Реззов В.И., ООО "Геосейс", г. Москва
Гурьев С.В., ОАО "Тюменнефтегеофизика", г. Тюмень

Импульсные электромагнитные сейсмические источники "Геотон" представляют новое направление в развитии средств возбуждения волн - групповые многоэлементные системы возбуждения.

Благодаря простой и исключительно надежной системе управления группой источников создаются благоприятные условия для эффективного изучения в едином технологическом процессе различных этажей геологического разреза, что может обеспечить более высокую точность сейсморазведки в сложных поверхностных условиях. Применением групповых импульсных источников обеспечивается также возможность более интенсивного развития многоволновой сейсморазведки. Несомненным достоинством источников "Геотон" является возможность выполнения работ в промышленных зонах на расстоянии 15-20 м от подземных коммуникаций и 60-100 м от зданий и сооружений.

Создание интерференционных систем, оптимально настроенных на выделение определенных типов волн, является основным методическим приемом сейсмометрии, особенно актуальным при возбуждении волн с поверхности земли. Группирование источников сейсмических волн является одним из мощных средств манипуляции интерференционными системами.

Для точного управления интерференционными системами необходимо источники возбуждения волн наделить определенными свойствами, такими как мобильность, четкость управления, компактность, возможность распределения сейсмического воздействия в пространстве и времени.

В наибольшей степени указанными свойствами

обладают поверхностные сейсмические источники, и в их ряду, источники "Геотон", по нашему мнению, являются наиболее удобными.

Особенностью источника "Геотон" является модульный принцип, согласно которому, компактный излучатель заданной мощности, являясь автономным, в смысле исполнения команд, стандартно встроены электрическими линиями в систему питания и управления группой [1].

Такая особенность позволяет конструировать различные композиции из источников и управлять фронтами излучения.

Простейшая композиция - это независимые источники, установленные по любой заданной схеме на местности и соединенные между собой кабелями питания и управления.

Такую композицию, из 4 - 8 источников, мы обычно применяем при выполнении работ ВСП.

Подбирая параметры расстановки источников на ближних пунктах возбуждения можно добиться подавления гидроволны, или трубной волны, которые образуются при воздействии прямой волны на ствол скважины.

Соответствующим подбором конструкции группы и задержками исполнения команд можно добиться требуемой направленности максимума излучения выбранного типа волн.

На рис. 1 показана следящая компонента волнового поля, возбуждаемого источником "Геотон" в процессе выполнения ВСП на глубину от 20 до 2700 метров. На сейсмограмме хорошо видны падающие обменные (PS) и поперечные (SS) волны.

Обладая уникальными технологическими возможностями источник "Геотон" может быть весьма полезен при выполнении ВСП с многокомпонентной регистрацией волнового поля.

При выполнении полевых сейсморазведочных работ модульный принцип позволяет легко создавать такие системы возбуждения волн, в которых сочетается гибкость адаптации группы к рельефу с возможностью оптимально настраивать интерференционные системы на изучение в едином технологическом цикле различных глубинных этажей геологического разреза различными типами волн.

Следует заметить, что в отличие от вибрационных источников, импульсные источники обладают свойством несмещения волновых полей различных глубинных этажей геологического разреза, что позволяет выполнять исследования волновых полей в большем динамическом диапазоне.

Кроме того, импульсные источники более приспособлены к возбуждению поперечных волн, за счет легкого осуществления сдвига спектра возбуждаемых колебаний в область низких частот, что трудно достигается в вибраторах. В этом отношении источник "Геотон" обладает большими возможностями.

На рис. 2 показаны две сейсмограммы, в одном из запольных районов Тюменской области на одной расстановке с применением вертикальных приемников.

Сейсмограмма (а) отображает волновое поле, возбужденное группой источников "Геотон". На ней хорошо видны два типа волновых полей высокочастотное поле Р волн и низкочастотное S волн. Возможность регистрации вертикальной составляющей поперечных волн в районах монопольной многолетней мерзлоты была отмечена Ю.П. Бевзенко и др. в 1977 году на материалах

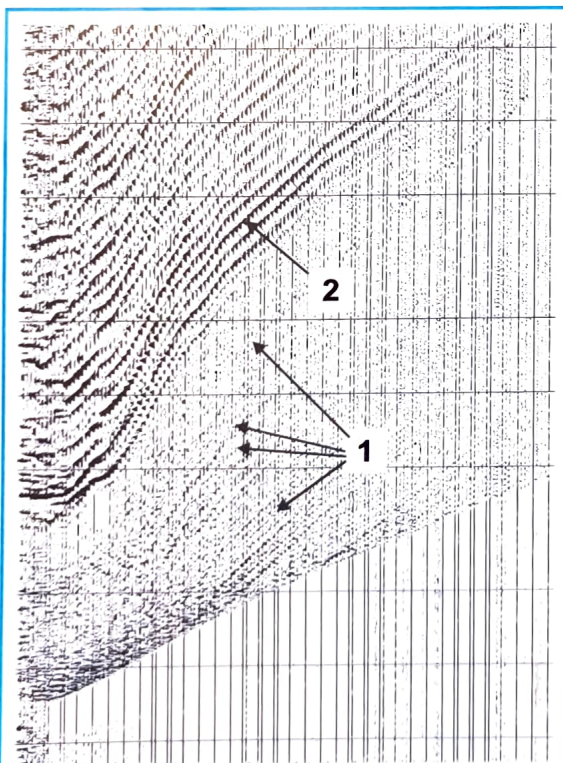


Рис. 1 Сейсмический профиль ВСП, R компонента.
1 - обменные падающие PS-волны;
2 - поперечные падающие SS-волны



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Уровень ослабления 20 Дб, как для вибрационного, так и для импульсного источников находится на частоте 45 Гц, при взрывном возбуждении, на частоте 80 Гц.

Таким образом, подтвержден тот факт, что неперывные источники в районах развития мерзлоты возбуждают более низкочастотные сигналы, чем взрывы, при этом следует отметить, что источник типа "Геотон" может дать сигнал с более широким спектром по сравнению с вибратором.

Существенным преимуществом вибрационных источников является быстрая накачка волновой энергии в среду при относительно низких удельных давлениях на грунт.

Импульсные источники в этом отношении могут составить конкуренцию вибрационным, если в их конструктивных решениях будет достигнута большая площадь контакта излучателей с грунтом в сочетании с заданным удельным давлением на грунт. В настоящее время основной задачей фирмы "Геотон" является создание на базе источников "Геотон" конструкций и системы управления, решающих задачу приближения эффективности импульсных источников к вибрационным с намерением превзойти эффективность вибрационных источников.

Мы находимся на пути к решению такой задачи. Нами и нашими партнерами уже получены результаты с применением группирования до 24 источников в группе с общей площадью контакта с грунтом до 17 м².

В январе 2004 года на профиле №7 протяженности 7 км Встречной площади Майского месторождения сейсморазведочной партией №2 ОАО "Самаранефтегеофизика" были выполнены опытные работы, имевшие целью сравнение эффективности источников "Геотон" и взрывов.

Сейсмогеологические условия участка работ являются характерными для центральной части Западной Сибири. Рельеф участка относительно спокойный с изменением отметок 63 - 78 м на начальной половине профиля, и 73 - 82 м на конечной половине профиля.

Первым шагом опытных работ было опробование различного количества источников в группе и сравнение параметров волновых полей, возбуждаемых группой от 2 до 16 источников "Геотон", при различном числе накоплений и взрывами зарядов массой 0,32 кг на глубинах от 8 до 18 м. Опытные работы выполнены на пикете 108 с абсолютной отметкой рельефа 75 м.

Сейсмограммы взрывных возбуждений характеризуются практически одинаковым качеством, и наличием признаков конуса низкоскоростных помех лишь при глубине взрыва 8 м и менее, что является признаком малой мощности ЗМС, не превышающей 7 м.

Сейсмограммы, возбуждаемые группой 2, 4, и 16 источников "Геотон", характеризуются наличием конуса низкоскоростных помех, что характерно для возбуждения волн в толще ЗМС. С увеличением количества источников в группе увеличивается отношение сигнал/помеха.

Изменение частот сигналов и отношения сигнал/помеха в зависимости от количества источников "Геотон" показано в таблице 1.

Согласно представленной таблице увеличение

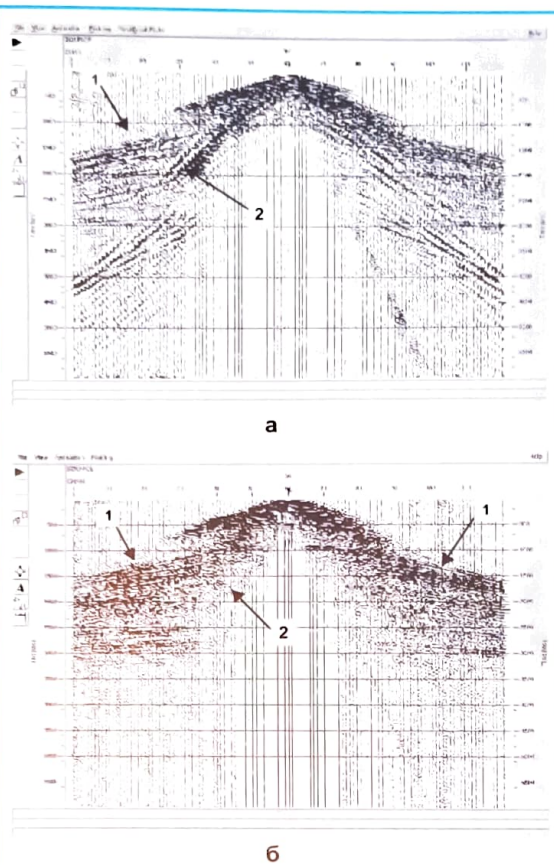


Рис. 2 Сейсмограммы МОВ ОПВ (ЯНАО)

а) - возбуждение волн группой сейсмоисточников "Геотон";

б) - возбуждение волн группой вибраторов "М-27"

1 - продольные отраженные волны;

2 - поперечные отраженные волны

полуострова Ямал [2] и в настоящее время эти волны используются для интерпретации [3]. На рис. 26 показана коррелограмма, отображающая волновое поле, возбужденное на том же пункте, группой вибраторов. Уровень энергии низкочастотных поперечных волн существенно снижен.

Из приведенного сравнения волновых полей можно сделать вывод о большой перспективности применения источников "Геотон" для многоволновой сейсморазведки.

На рис. 3 показан фрагмент профиля 48-кратного ОГТ, обработанного с применением взрывов, 4-х 27 тонных вибраторов и 24-х источников "Геотон".

Анализ спектров сейсмических сигналов в диапазоне 0,8 - 2,9 с по представленному участку профиля показывает различия в различных способах возбуждения волн.

Максимум спектров сейсмических сигналов находится на частоте 20 Гц для всех трех способов возбуждения.

При взрывном возбуждении ослабление сигнала на 40 Дб происходит на частоте 150 Гц; при вибрационном - на частоте 52 Гц; при возбуждении источником "Геотон" на частоте 90 Гц.

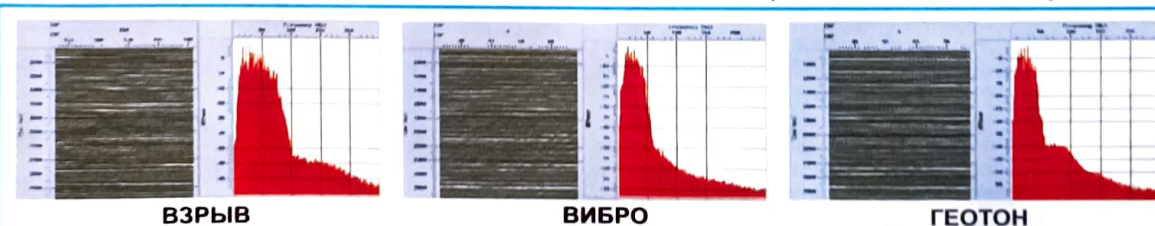


Рис. 3 Сравнение спектров сейсмических сигналов

Таблица 1 Объем групп и параметры сигналов

Кол. Источников	Макс. частота сигнала, Гц	Средняя частота сигнала, Гц	Отношение сигнал/помеха	Кв. корень из темпа увелич. количества источников	Темп увелич. отношения сигнал/помеха	Отношение темпов
2	25,5	26,4	0,485			
4	25	24,5	0,848	1,41	1,411,74	1,23
6	25	23,5	0,483	1,22	1,221,16	0,95
8	25,2	23,34	1,228	1,15	1,151,25	1,09
10	22,7	25,1	1,263	1,12	1,121,03	0,93
12	22	24,3	1,453	1,1	1,11,15	1,05
14	22	25,03	1,51	1,08	1,081,04	0,96
16	22	23,73	1,623	1,08	1,08	1
				ср. 1,17	ср. 1,17ср. 1,20	ср. 1,03

количества источников в 8 раз (от 2 до 16) привело к понижению максимальной частоты сигнала на 14%, средней частоты сигнала - на 4%, отношение сигнал/помеха увеличилось в 3,35 раза. Средний темп увеличения отношения сигнал/помеха (1,2) соответствует корню квадратному из среднего темпа изменения отношения количества источников в группе (1,17), что полностью соответствует теории интерференционных систем и свидетельствует безупречной работе системы синхронизации источников.

Незначительное снижение средней частоты сигналов при увеличении в 8 раз количества источников в группе, также объясняется надежной работой системы синхронизации.

При возбуждении волн взрывами максимальная частота сигнала 18,5 Гц, средняя - 21,8 Гц, что, соответственно, на 22% и на 10% ниже, чем при возбуждении группой из 16 источников "Геотон".

Экспериментально установлено, что отношение сигнал/помеха на сейсмограммах, полученных от взрыва несколько выше, чем от группового источника "Геотон" (при взрывах - 1,73, при группировании 16 источников - 1,62).

Для сравнения эффективности источников "Геотон" и взрывов был отработан профиль ОГТ протяженностью 7 км. В результате анализа полученных временных разрезов установлено, что отношение сигнал/помеха для взрывов выше на участке пониженного рельефа и одинаковое для взрывов и источников "Геотон" на возвышенном участке рельефа. Средние и максимальные частоты, а также частотные спектры сигналов для обоих типов возбуждения волн одинаковы. Вместе с тем, для взрывного возбуждения характерна более стабильная волновая картина, что объясняется возбуждением волн ниже подошвы ЗМС.

Обсуждая полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- источник "Геотон" возбуждает волновое поле вполне сопоставляемое с взрывами;
- по своим свойствам источник "Геотон" пригоден для решения современных геологических задач нефтегазовой сейсморазведки;
- существенной проблемой в применении источников "Геотон", как и других поверхностных источников является учет влияния ВЧР.

Известно, что при возбуждении волн на поверхности земли возникают проблемы, связанные с изменчивостью зоны малых скоростей, с образованием поверхностных волн, а также с образованием волн-спутников с малыми задержками [4].

Практикой применения технологии многоуровневой сейсморазведки показано, что применение нескольких различных по параметрам приемно-регистрирующих систем обеспечивает изучение глубинных и приповерхностных этажей геологического разреза в едином технологическом процессе [5].

Применение многоэлементных групп источников

"Геотон" создает условия для совершенствования технологии многоуровневой сейсморазведки за счет применения в дополнение к различным приемно-регистрирующим системам, разлагающимся по параметрам систем возбуждения.

Это достигается возбуждением волн несколькими сеансами, в каждом из которых задействовано различное количество источников, включаемых одновременно, либо последовательно по заранее определенной и установленной в системе управления программе.

В настоящее время фирма "Геосейс" ведет работы по созданию оборудования для реализации этой идеи.

В результате исследования волновых полей, возбуждаемых источниками "Геотон", установлено, что поверхностные источники стабильно возбуждают поперечные волны, что создает благоприятную перспективу их использования в сейсмических исследованиях с применением продольных, поперечных и обменных волн, тем более, что программирование задержек при возбуждении позволяет регулировать направленность излучения сейсмических волн.

По заключению специалистов "ВНИИГеофизика" группу из 16 источников "Геотон" допускается эксплуатировать на расстоянии 20 м до подземных коммуникаций и 80 - 100 м до наземных зданий и сооружений, что создает благоприятную перспективу их использования в промзонах.

Наконец, следует обратить внимание на простоту конструкции источников "Геотон", их практическую независимость от климатических условий, низкие эксплуатационные расходы, что предопределяет высокую рентабельность их применения в сейсморазведочных работах.

Литература

1. Анкушев В.В., Гурьев С.В., Резвов В.И. Импульсный санный электромагнитный сейсмоисточник "Геотон": особенности выбора основных силовых параметров, конструкция и применение. Журнал "Геофизика", ЕАГО, спец. выпуск, 2004, с. 120-122.
2. Бевзенко Ю.П., Иванов В.И., Луцкий В.И. "Некоторые особенности сейсмического поля в северных районах Западной Сибири. Труды Зап. Сиб. Науч. исслед. геологоразвед. нефт. ин. та, вып. 114, 1977, с. 102-106.
3. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н. "Выделение и использование вертикальной составляющей поперечных волн в районах развития мерзлых толщ" Журнал "Горные ведомости" № 3, 2004, стр. 39-43.
4. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Трандин С.М. Многоуровневая сейсморазведка. Повышение точности сейсморазведочных работ на основе изучения ВЧР и учета волн-спутников с малой задержкой. Журнал "Горные ведомости", № 2, 2004.
5. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н. Техника и технология многоуровневых сейсмических исследований на севере Западной Сибири. Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики", № 2, 2004, с. 31-35.

Буксируемые косы для исследования ВЧР

Козловский Н.К., Качагин А.А., ООО "ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл"; г. Уфа;
Воронцов И.В., ОАО "Тюменнефтегеофизика", г. Тюмень

Вследствие сильной изменчивости сейсмо-геологических условий в ВЧР по латерали и глубине, необходимы разрешающая способность и связанная с ней детальность исследования, существенно превосходящие таковые в "основной" съемке. С этим же связано условие непрерывного ведения работ по профилям МОГТ. Таким образом, требуется исследовать то же количество погонных километров, что и в "основной" съемке с детальностью, а, следовательно, и количеством физических наблюдений на порядок выше. Возникает проблема, для решения которой должен быть найден приемлемый баланс между результатами работ, их стоимостью и производительностью. Испытания показали, что при включении в полевой комплекс буксируемой косы, отмеченная проблема может быть решена.

Хронометраж выполнения малоглубинных исследований однозначно показывает, что основные затраты времени приходятся на расстановку сейсмоприемников и перекладку кос. Поэтому, на первый взгляд, практически безальтернативный вариант - использование буксируемых устройств. Буксируемые приемные устройства известны давно [1]. Опубликованы результаты их применения при морских исследованиях [2, 3], изучении ВЧР для введения статических поправок [4], при гляциологических [5] и археологических [6] исследованиях. Тем не менее, объем применения буксируемых систем, особенно на суше, ограничен. С точки зрения качества получаемых материалов ограничений нет. Теоретически и экспериментально показано [7], что при соблюдении некоторых условий, достигается идентичность сигналов, принимаемых обычными и буксируемыми системами (рис. 1). К таким условиям относятся, прежде всего, массогабаритные показатели и, соответственно, удельная нагрузка на грунт. Улучшает результат и образование борозды в

снегу, песке и др.

Ограничения по применению буксируемых приемных систем связаны, на наш взгляд, с отсутствием использующих их эффективных технологий, востребованных практикой нефтегазопроисковых сейсморазведочных работ. Прежде всего, это относится к прямым исследованиям ВЧР в районах со сложными приповерхностными условиями. Специалистами ОАО "Тюменнефтегеофизика" предложена технология микроМОВ, предусматривающая использование высокопроизводительной буксируемой приемной системы. В России буксируемые системы, специализированные для исследования ВЧР, промышленно не выпускались. Предложение о совместной деятельности в этом направлении нашло отклик в ООО "ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл". Результаты работы представлены ниже.

Таблица 1 Технические характеристики двухгеофонной самоориентирующейся системы

Длина, мм	250
Диаметр, мм	51
Вес в воздухе, кг	1,65
Рабочая глубина, м	до 5
Продольное разрывное усилие, кН	150
Максимальный угол наклона КП, град	30
Угол поворота КП в продольной оси, град	360
Геофон:	
- собственная частота, Гц	10±2,5%
- чувствительность, В/м/с	39,2±5%
- степень затухания, %	70±5%

Исходно рассматривались различные конструкции буксируемых систем, в т.ч. и с обычными датчиками на плоских платформах-салазках. Тем не менее, более сложная конструкция с самоориентирующимися датчиками оказалась удобной не только из-за

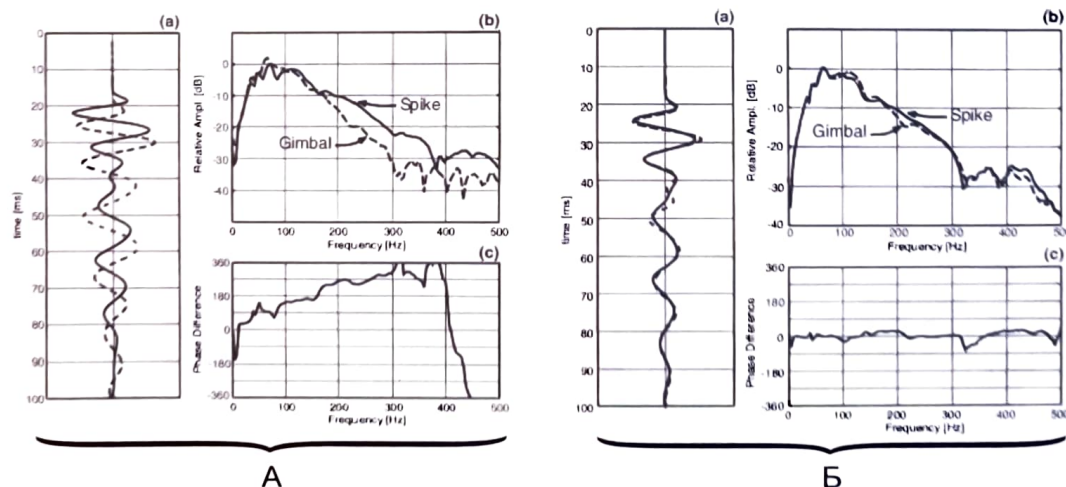


Рис.1 Сравнительные данные для обычного (Spike) и буксируемого (Gimbal) датчиков:
А - Буксируемый датчик лежит на поверхности грунта
Б - Буксируемый датчик находится в борозде



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Рис.2 Самоориентирующиеся датчики

постоянной готовности к работе, но и лучшего контакта с грунтом (снегом) вследствие цилиндрической формы корпуса (рис. 2).

Массогабаритные характеристики датчиков (таблица 1) выполнены в соответствии с рекомендациями, позволяющими устранить различия в результатах применения буксируемых и "обычных" сейсмодатчиков.

Исходно была принята схема соединения буксируемых датчиков с магистральным кабелем посредством канальных отводов. Такая конструкция имеет преимущества по сравнению с "центральной", в которой геофоны "напизаны" на магистральный кабель: на неровностях (буграх, лежащих поперек профиля деревьев) магистральный кабель поднимается, но канальные отводы позволяют сохранять контакт геофонов с грунтом (рис. 3). Кроме того, в "центральной" системе геофоны находятся под влиянием различного натяжения магистрального кабеля, что выражается в дополнительных помехах и не идентичности условий приема.



Рис. 3 Демонстрируется подъем кабеля на поперечном препятствии, при этом контакт приемного устройства с поверхностью наблюдения сохраняется

Испытания технологии микроМОВ и первого варианта буксируемой косы были проведены весной 2003 г. на территории ЯНАО в условиях лесотундры с рельефом, пересеченным долинами многочисленных водотоков и осложняемым буграми морозного пучения. Применялась фланговая система наблюдений. Коса 48-канальная, с расстоянием между датчиками 5 м. Источник возбуждения сейсмических волн электромагнитного действия буксировался вместе с приемной системой. Сейсмостанция - "Интротарин-1.2". Объем работ составил 675 ф.н., 13,5 п.км. Половина работ проведена после дождей и интенсивного уменьшения толщины снежного покрова. На отдельных участках работы выполнены буксированием косы при полном отсутствии снега.

В первом варианте буксируемой косы

канальные отводы не были снабжены тросовыми усилениями и динамические воздействия при буксировке геофонов воспринимались непосредственно кабелем КПСПу-3 (три стале-медных провода в оплетке). Тем не менее, порыва кабеля отмечено не было. Коническая форма передней части буксируемых датчиков в сочетании со свободным их перемещением на канальных отводах позволяла преодолевать практически любые препятствия. Единичные случаи нарушения конструкции были отмечены только в особых случаях. Например, причиной нарушения контакта между магистральным кабелем и двумя канальными отводами был зажим датчика в пропеле, образовавшемся при движении магистрального троса по подгнившему пню.

Тем не менее, первые же полевые испытания показали очевидные преимущества такого приемного устройства. После развертывания на профиле, система находится в постоянной готовности. Время, необходимое на перемещение по профилю всего оборудования в сборе между точками возбуждения не превышало 30 с. Затухание колебаний датчиков на карданном подвесе вследствие движения системы происходило примерно за то же время. Этот процесс контролировался с панели сейсмостанции, отображающей пиковое значение входного сигнала. Отмеченный временной интервал использовался для приведения в готовность сейсмостанции и источника колебаний. В итоге время выполнения одного физического наблюдения уже при первых испытаниях не превышало 3 минут. При движении косы образуется глубокая борозда в снегу, которая снижает влияние звуковой волны. На рис. 4 представлена сейсмограмма, полученная при приеме колебаний буксируемой косой, на рис. 5 - фрагмент временного разреза.

После испытаний, на которых присутствовали специалисты ООО "ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл", были сформированы предложения по совершенствованию буксируемой косы. Улучшение эксплуатационных свойств достигнуто применением конструкции, схематично изображенной на рис. 6.

Канальные отводы: тросовые и токоведущих жил, - снабжены разъемами, позволяющими быстро подсоединить или сменить датчик. В особых условиях, повышающих вероятность

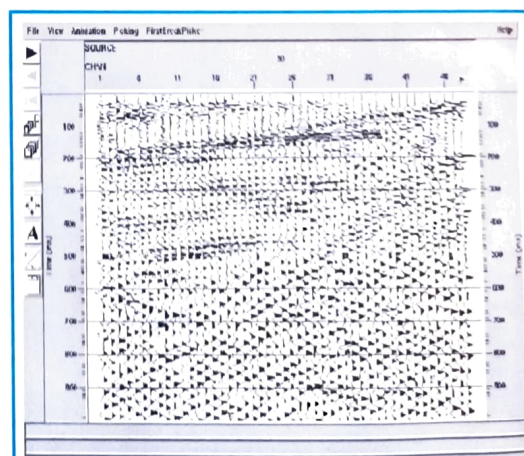


Рис. 4 Сейсмограмма МОВ, полученная с применением буксируемой косы и малого электродинамического источника "МИСС-У", 10 кН

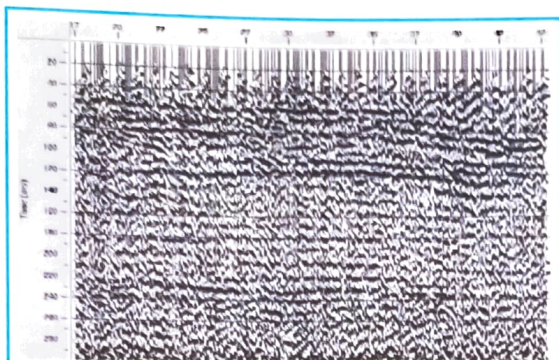


Рис. 5 Фрагмент разреза микроОИГ. Буксируемая коса, источник "МИСС-У", 10кН

обрыва, резьбовое соединение разъема может не использоваться. В экстремальной ситуации произойдет лишь рассоединение контактов разъема без нарушения токоведущих жил.

Такая конструкция делит устройство на две неравные по стоимости части: "малоценная" коса, которая претерпевает основные деформации, и самоориентирующиеся датчики, наиболее ценная, и как показали испытания - надежная часть изделия. Кроме того, один "набор" буксируемых датчиков позволяет работать с косами, имеющими различное расстояние между каналами. Поэтому длина приемной установки может быть изменена при незначительных затратах.



Рис. 6 Схема участка буксируемой косы

Модернизированная конструкция может быть оснащена одно-, двух- и трехкомпонентными буксируемыми датчиками. Испытания буксируемой косы с трехкомпонентными датчиками позволяют сделать следующий вывод. При многокомпонентных наблюдениях важный этап - ориентировка датчиков. Буксируемая система, при движении за транспортным средством, вытягивается в линию. Этим достигается практически идентичная для всей косы азимутальная ориентировка. Горизонтальность х- и у-датчиков и вертикальность z-датчика обеспечивается карданным подвесом. Таким образом, производительность при проведении многокомпонентных наблюдений практически не снижается.

Промышленные испытания модернизированной буксируемой косы проведены зимой 2003-2004 гг. Работы микроМОВ выполнялись с целью получения данных для введения статических поправок на участке площадью более 500 км² с развитой мерзлотой переменной мощности. Одним комплектом буксируемой системы было выполнено более 400 п.км. съемки за 1,5 месяца. Показательным является то, что на ремонт всего оборудования: буксируемой косы, источника колебаний, транспортного средства, - потрачено всего 5 дней. Состав бригады на профиле - 5 человек. Среднее время на выполнение одного физического наблюдения не превышало 1,5 минуты.

В результате работ получен план распре-

деления скорости в слое замещения. Эти данные могут быть использованы для введения статических поправок за влияние ВЧР.

Таким образом, в процессе отработки технологии микроМОВ, прошла успешные испытания буксируемая коса. Полученные результаты дают основание надеяться, что даже самые общие расчеты экономической эффективности убедят геофизиков в перспективности применения предлагаемого изделия, разработанного предприятием "ОИО Гео Импульс Интернэшнл".

Хотелось бы отметить, что область применения буксируемых систем не ограничивается зимними работами и перемещением по снегу. Можно с полным основанием предполагать ее эффективность при буксировании по песку, болоту и "обычным" песчано-глинистым грунтам.

В заключении заметим, что создание новых образцов геофизического оборудования наиболее результативно при тесном взаимодействии промышленного производства и разведочной геофизики. Постановка технических заданий и требований разработчикам геофизического оборудования - необходимое, но не достаточное условие успеха. Совместная работа должна находить свое продолжение в предоставлении возможности проведения совместных испытаний, для отработки конструктивно-эксплуатационных характеристик, опытно-методических и технологических исследований.

Одним из примеров такого взаимодействия двух предприятий может служить сотрудничество между ОАО "Тюменнефтегеофизика" и "ОИО Гео Импульс Интернэшнл" где, начиная от согласованных разработок и до проведения совместных испытаний, была обеспечена возможность получения положительных результатов в сжатые сроки.

Такое взаимопонимание и целеустремленность коллективов разных предприятий заслуживает выражения особой благодарности за предоставление возможности проведения полномасштабных испытаний генеральному директору ОАО "Тюменнефтегеофизика" КУРЬЯНОВУ Ю.А., а так же сотрудникам предприятия за помощь в проведении работ Кузнецову В.И., Чебалдину Н.М., Воронцову И.В., Хохрякову Н.В., и коллективу СП - 19.

Литература

1. Бевзенко Ю.П. А.с. №329490 кл.42, стр.42. Транспорт сейсмических приемников. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, №7, 1972. Соавторы: Салтанов А.К., Уколов И.А.
2. Архипов А.А. Приемные системы для морской многоволновой сейсморазведки в России. К вопросу о приоритетах. - Приборы и системы разведочной геофизики, 02/2002, с.16-18.
3. Бевзенко Ю.П. Многоуровневая высокоточная сейсморазведка в районах развития многолетней мерзлоты. Дис. докт. геол.-мин. наук, Тюмень, 2004.
4. Michiel van der Veen and Alan G. Green. Land streamer for shallow seismic data acquisition: Evaluation of gimbal-mounted geophones GEOPHYSICS, VOL. 63, NO. 4 (1998); P. 14081413.
5. Marvin A. Speece and Carlyle R. Miller, Montana Tech, 1998.
6. Krohn, C. E., 1984, Geophone ground coupling: Geophysics, 49, 722731.

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ





Распределенная телеметрическая система регистрации сейсмических данных в реальном времени

Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., ФГУП "СНИИГГИМС", г. Новосибирск

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Современные телеметрические сейсмостанционные станции представляют собой совокупность большого числа (до десятка тысяч) сейсмических каналов, распределенных на значительной площади и объединенных системой телеуправления. Система телеуправления обеспечивает контроль состояния удаленных сейсмических каналов, а также сбор и регистрацию сейсмической информации в реальном времени. Требования регистрации сейсмических данных в реальном времени не является самоцелью, а есть необходимое условие обеспечения интерактивности процесса управления сложной системой для повышения эффективности производства полевых работ. Особенно важно контроль системы регистрации организовать в интерактивном режиме при работе с современными невзрывными (вибрационными и импульсными) источниками упругой энергии, технология использования которых предполагает выполнение оперативной обработки с оценкой качества полевого материала.

При построении пространственно распределенной многоканальной кабельной телеметрической системы регистрации в реальном времени основными проблемами являются:

- реализация с высокой пропускной способностью канала связи между сейсмическими каналами одного линейного фрагмента;
- организация с высокой пропускной способностью канала связи между линейными фрагментами системы;
- реализация высокопроизводительного канала связи между центральной станцией и специальным полевым оборудованием.

Трафик потока цифровой информации по кабельному каналу связи на линейном фрагменте, состоящем, например, из 600 24-х разрядных каналов, при интервале дискретизации 2 мс (или частоте квантования 500 Гц) оценочно превышает 7 200 000 бит/с, то есть достигает 8 Мбит в секунду. Надежная передача цифрового потока данных с таким трафиком может быть обеспечена только при использовании высококачественных линий связи, входящих в состав сейсмических кос, применения алгоритмов помехоустойчивого кодирования информации с корректировкой поврежденных данных (например, кодом Рида-Соломона), а также кодирования данных для оптимального использования полосы пропускания линии связи (например, кодом ПДВЗ).

Трафик цифрового потока данных между линейными фрагментами системы, если ограничиться 5000 сейсмических каналов, превышает $500 \cdot 24 \cdot 5000 = 60\,000\,000$ бит/с (60 Мбит/с). Надежная передача потока сейсмической информации в этом случае обеспечивается дополнительно к описанным выше решениям распараллеливание потока по нескольким линиям связи, входящим в состав одной сейсмической косы.

Реализация высокопроизводительного канала связи между всем полевым оборудованием и центральной станцией является наиболее сложной задачей. Если в качестве центральной станции используется РС-совместимый компьютер (в особом промышленном исполнении), то он

дополняется специальным интерфейсным контроллером для сбора потока информации трафиком, превышающим 260 Мбит/с. Отметим, что попытки построения подобных систем с применением известных внешних интерфейсов РС-совместимого компьютера (например, LPT, USB, Fire Ware) и промежуточным буфером памяти, как внутри интерфейсного контроллера, так и внутри блоков полевого оборудования, приводили к полной или частичной потере интерактивного режима работы телеметрической системы и, следовательно, к невозможности ее использования в технологическом процессе с невзрывными источниками возбуждения упругих колебаний. Кроме того, применение промежуточного буфера памяти ограничивает длительность сеанса регистрации сейсмической информации. Возможным, и на данный момент оптимальным решением задачи, является построение интерфейсного контроллера, как платы расширения формата PCI. Технические характеристики и функциональные возможности шины PCI, такие как: 32 битная разрядность, тактовая частота 33 МГц, многозадачность, реализованная на аппаратном уровне, позволяют выполнить пересылки данных от линии связи непосредственно в оперативную память управляющего компьютера. Рациональное использование высокоскоростных ресурсов процессора управляющего компьютера обеспечивает при соответствующей оптимизации вычислительных алгоритмов уровень его производительности, достаточный для выполнения в реальном времени оперативной обработки данных, в том числе фильтрации, накопления и визуализации, одновременно с их регистрацией.

Описанные выше проблемы были успешно решены при разработке отечественной многоканальной телеметрической сейсмостанции СТС-24Р (2001г.), обеспечивающей регистрацию в реальном времени до 1000 каналов без ограничения длительности физического сеанса наблюдения. Решения, апробированные при проектировании сейсмостанции СТС-24Р, получили свое развитие при разработке на новой элементной базе телеметрической системы следующего поколения РОСА, предназначенной для проведения многомерных сейсмических исследований с регистрацией данных нескольких тысяч каналов в реальном времени [1 - 3]. При построении телеметрической системы РОСА были разработаны элементы, которые позволяют выполнять сейсмические исследования размерности 2D, 3D, 4D с возможностью многокомпонентной регистрации упругих волн разных классов и различной поляризации.

Станция РОСА организована, как иерархическая структура, в состав которой входят (рис. 1):

- **центральная станция** для интерактивного телеуправления полевым оборудованием, обеспечивающим сбор, регистрацию, хранение, визуализацию и оперативный анализ сейсмической информации (элемент второго уровня иерархии);

- **линейные системы** наблюдения, объединенные скоростными магистралями;

- концентраторы линейных систем (элемент первого уровня иерархии).

- портативные телеуправляемые 4-х канальные регистраторы для приема и передачи сейсмической информации в реальном времени (элемент нулевого уровня иерархии).

Основное назначение концентратора заключается в организации очередности передачи пакетов данных, приходящих с различных направлений. Концентратор (hub или узел) собирает данные с двух линейных фрагментов станций, передает информацию в скоростную магистраль и ретранслирует на центральную станцию данные предыдущих узлов. Пакеты данных приходят на концентратор случайным образом и коммутируются на свободные передатчики. Если концентратор не имеет подключенных линейных фрагментов,



Рис. 1 Структурная схема многоканальной телеметрической сеймостанции РОСА

то он выполняет функцию ретранслятора. Сложность организации работы концентратора определяется не ретрансляцией данных, а обеспечением очередности их передачи при условии, что количество приемных превышает количество передающих каналов. В этом случае пакеты данных, для которых не хватило свободных передатчиков, буферизуются в памяти и при освобождении каналов передачи передаются в магистраль.

Система телеметрии обеспечивает формирование двух цифровых потоков: нисходящего (команд управления) и восходящего (сейсмических данных). На рис. 2 показана общая схема потоков сейсмической информации в многоканальной кабельной телеметрической системе РОСА. Скорость потока нисходящего канала информации



Рис. 2 Структурная схема потоков управления и сейсмических данных в телеметрической системе РОСА

значительно ниже скорости восходящего потока данных. Канал управления выполняет передачу команд инициализации (настройки) и моментов синхронизации АЦП регистраторов с центральной станцией. Все регистраторы активной работы работают синхронно, временная стабильность и синфазность, работы которых достигаются через корреляционный прием поля синхронизации. Команды управления частотой синхронизованы через спутниковую систему GPS сигналами точного времени TPWS с погрешностью менее 90 нс.

В восходящем канале одновременно с сейсмическими данными передаются действующие настройки модулей и служебная информация, т.е. часть ресурсов восходящего потока используется для организации служебного канала мониторинга состояния регистраторов. Достоверность передачи данных обеспечивается применением контрольного, избыточного CRC кода. Для обеспечения гарантированной доставки команды синхронизации АЦП и переключения режимов работы регистраторов используются псевдослучайная двоичная последовательность и корреляционный прием. Кроме того, для исключения потери отчетов, контролируется их порядковый номер, и при обнаружении потери отчета программа обработки вычисляет интерполированное значение.

Быстродействие нисходящего канала особо не регламентируется, кроме требования выполнения одного условия: длительность посылки командного канала не должна превышать минимальный период квантования (0,125 мс). Пропускная способность канала управления составляет 2 Мбит/с.

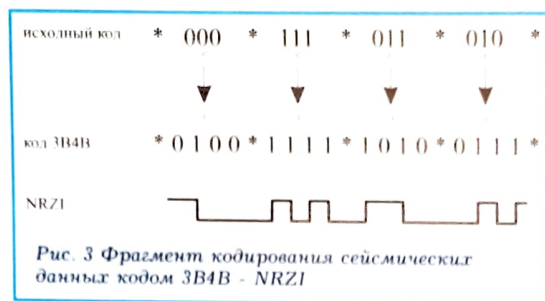
Значительно сложнее исполнен восходящий канал передачи данных. Для обеспечения возможно максимальной скорости передачи сейсмических данных для длины кабеля в широких пределах требуется применять более жесткие способы кодирования:

- код должен быть двухуровневым, обеспечивающим дешифрацию в широких пределах изменения уровня сигнала;
- код должен быть сбалансированным по постоянной составляющей с возможностью обеспечения гальванической развязки посредством трансформатора;
- результирующий сигнал должен занимать, возможно, минимальную полосу спектра в линии связи.

Экспериментально был определен надежный способ кодирования сейсмических данных: кодирование 3B4B с использованием модуляции типа NRZI без возвращения к нулю (рис. 3). Кодировка 3B4B увеличивает количество переходов первоначальной последовательности за счет замены исходных трех символов на новые четыре, что уменьшает постоянную составляющую передаваемого сигнала. Применение модуляции NRZI снижает требование к верхней границе спектра передаваемого сигнала, поскольку для передачи единицы требуется один переход сигнала в линии связи против двух в коде "Манчестер" [4]. Исходная тактовая частота восстанавливается из фронтов сигнала. Для достоверности восстановления границ полубайтов заголовков пакета организован в виде специальной синхропоследовательности, прием которой обеспечивается коррелятором.

Реализованная система фазовой автоподстройки частоты, способ кодирования и гальваническая трансформаторная развязка в каждом из устройств регистрации гарантируют высокую достоверность канала передачи данных по кабелю

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



связи в пределах $0 \text{ м} \pm 220 \text{ м}$. Реально достижимые скорости определяются протяженностью кабеля между соседними точками регенерации и могут составлять $8 \text{ Мбит/с} \pm 32 \text{ Мбит/с}$.

Далее приведем описание структуры передаваемых пакетов сейсмических данных. Пакет данных, представляющие собой некоторое множество цифровых слов, начинается и заканчивается паузой в линии связи. Выделение сигнала паузы в линии позволяет выполнить подготовку к приему очередного пакета данных и, в первую очередь, коррелятора заголовка. Пауза в линии связи заполняется несущей для обеспечения готовности системы фазовой автоподстройки частоты приемника через систему дешифрации. Пакет данных состоит из непрерывно следующих заголовка, набора слов служебных и данных. Заголовки восходящего и нисходящего каналов различаются, поскольку различаются и системы кодирования, но не меняются при переходе из магистрали в линию и обратно. Адресация в пакетах счетная и, следовательно, при прохождении каждой регенерации адрес изменяется: магистральный в концентраторах, линейный в регистраторах. Подобная схема адресации исключает процедуру присвоения адресов и обладает некоторой универсальностью. Слова в пакетах имеют сходную структуру: указатель типа слова, поле данных, поле проверки на наличие ошибки. Служебные слова разделяются на адресные и слова состояния. Адресные слова разделяются на магистральный и линейный адреса. Пакеты могут иметь различную длину, но структура начала пакета всегда однозначно определена. Порядковый номер слова после заголовка используется при его дешифрации. Служебный поток выделяется из общего потока данных на центральной станции по указателю типа слова.

Распределенная многоканальная телеметрическая система регистрации функционирует в двух режимах: настройки и регистрации сейсмических данных. Режим работы системы определяется типом заголовка нисходящего канала. В режиме настройки период обмена пакетами равен максимально возможному 16 мс. В режиме сеанса регистрации период обмена определяется выбранным параметром настройки станции, и может составлять от 16 мс до 0,125 мс. Для настройки расстановки достаточно передать 4 пакета данных (64 бита), которые позволяют определить параметры канала регистрации. Настройка сейсмической линии связи происходит за 64 мс.

В телеметрической системе РОСА реализован режим "plug&play". Такая возможность обеспечивается режимом настройки, в котором сбор состояний и сейсмических данных выполняется по всем активным линиям системы наблюдения.

Дистанционный оперативный контроль метрологических параметров сейсмостанции выполняется с использованием встроенных средств регистратора: генератора гармонических синфазных и паразитных сигналов, генератора белого

шума нормированной мощности, эквивалента нагрузки. Внутренние датчики измерения температуры, влажности, напряжений и тока, независимо от рабочего режима передают информацию на центральную станцию с периодом опроса. Локализация неисправностей регистрирующей расстановки выполняется при тестировании технических параметров каналов передачи данных. Сбор статистики нарушений в линиях связи выполняется с использованием анализа CRC-кода в каждом слове посылки. Собранная статистика позволяет определить место нестабильной работы устройств с точностью до фрагмента линии связи с указанием на два граничных модуля, концентратора или регистратора, и при росте гистограммы нарушений линии связи выполнить соответствующую замену.

Таким образом, при разработке сейсморазведочной станции РОСА была успешно решена основная проблема, стоящая перед авторами, - создание распределенной телеметрической системы регистрации данных в реальном времени, обеспечивающей достаточную интерактивность технологического процесса выполнения сейсмических работ. При решении этой задачи были использованы новые оригинальные идеи и схемотехнические построения, современные достижения в области микроэлектроники и телекоммуникаций, а также алгоритмы и способы, апробированные при промышленной эксплуатации сейсмостанции СТС-24Р. Разработанная телеметрическая система сбора и регистрации сейсмических данных в реальном времени является надежной системой с технологичным интерфейсом, обеспечивающим снижение эксплуатационных затрат на этапе полевых работ. В тоже время эта система является гибкой, адаптивной, способной к масштабированию и изменению конфигурации и, следовательно, к реализации различных методов и технологий сейсмических исследований в жестких климатических и неблагоприятных географических условиях. Высокие показатели технических характеристик сейсмического канала регистрации, многоуровневая, иерархическая структура построения системы управления и сбора данных, портативность и малое энергопотребление элементов полевого оборудования, интерактивность технологического интерфейса делают станцию РОСА конкурентоспособной при выполнении многомерных сейсморазведочных работ с применением невзрывных, в том числе вибрационных, источников возбуждения упругих колебаний.

Литература

1. Васильев В.П., Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В. и др. Способ сбора сейсмических данных и устройство для его осуществления. Патент РФ №2189615, Б.И., 2002, 26.
2. Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В., Сагайдачная О.М., Щегольков А.В. Устройство фазовой автоподстройки тактовой частоты аналого-цифровых преобразователей в многоканальных системах сбора сейсмических данных. Патент РФ №2207719, Б.И., 2003, 18.
3. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Опыт построения российских многоканальных телеметрических станций для сейсмических исследований (СТС-24 СТС-24Р РОСА). Приборы и системы разведочной геофизики, 2003, 02(04).
4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети //Инженерная энциклопедия: Технологии Электронных Коммуникаций. М.: Наука, 1998.

Прогнозирование залежей УВ по результатам сейсмического мониторинга на примере Ван-Еганского месторождения (мезозойские отложения)

Кирилов С.И., Невидимова А.Ф., СП "Ваньеганнефть", г. Нижневартовск
Копунов С.Э., Хортов А.В., ООО "Гео Дэйта Консалтинг", г. Москва

Задача динамического анализа сейсмической информации в разрезе мезозойских отложений сводилась к следующему:

- 1) изучению структурно-тектонических особенностей района исследования;
- 2) определению зон с различными физическими и литологическими свойствами;
- 3) выявлению наиболее перспективных в нефтегазоносном отношении интервалов осадочного чехла и локальных структурных ловушек [1-3].

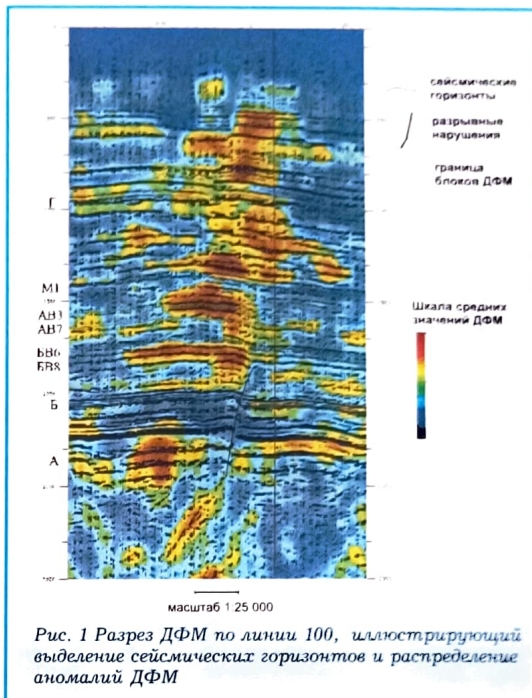
ДФМ-технология представляет собой набор процедур анализа сейсмических атрибутов, позволяющую производить относительную оценку аномальных давлений в системе "твердая матрица-флюид". Информация об аномальных давлениях (АД) в системе (при этом под АД понимается давление отличное от некоторого среднего), определенных на произвольной базе, содержится в коэффициентах отражения упругой волны и фиксируется по их изменчивости от точки к точке. То есть, изменчивость коэффициента отражения по некоторому отражателю есть относительная мера градиента аномального давления в геологическом теле, к границе которого, по тем или иным причинам, приурочен сейсмический отражающий горизонт. Оценка относительных значений градиента аномального давления может быть осуществлена как по отдельному отражающему горизонту после процедуры его корреляции, так и по произвольному интервалу. Интервальные оценки в большей степени соответствуют пространственным особенностям распределения давлений в пределах блоков с различной геодинамической активностью. В данном подходе, наиболее благоприятной областью для скопления флюида считается область пониженных общих давлений (область разгрузки обладает всасывающим эффектом) и ее непосредственная близость этой области к границе блоков с различной активностью, обеспечивающей вертикальную миграцию флюидов из нижних этажей к верхним [3].

Физической основой алгоритма обработки по методу ДФМ является зависимость коэффициента отражения для волны, падающей под углом θ от других компонент импеданса [4]:

$$R_c(\theta) = R_n \cos^2 \theta + R_s \sin^2 \theta$$

При этом для значений углов падения волны порядка 45 градусов, вклады "жесткостной" R_n и "пуассоновской" R_s долей в коэффициент отражения θ примерно равны. Атрибуты сигнала отраженной волны (мгновенные амплитуда и частота) зависят от плотности (упругих модулей), т.е. от свойств среды и литологии. При этом коэффициент пуассоновской отражательной способности сам имеет поисковое значение (Писенский В.Б., 1998).

Сейсмогеологическая характеристика осадочного чехла базируется на материалах МОИТ 3Д, выполненных в 1995 году (северная часть) и с перекрытием в 2000-2002 годах (центральная и южная части), а также данных ВСП и АК, по скважинам Ван-Еганского месторождения и прилегающих площадей. В целом сейсмогеология района характеризуется благоприятными глубинными и сложными поверхностными условиями. Речная сеть, невыдержанный состав ВЧР, частое изменение глубины залегания водоносного горизонта, развитие участков вечной мерзлоты, болот и песчаных грив отрица-



тельно влияло на условия возбуждения и приема, что сказалось на качестве полевого материала.

Приведенный на рис. 1 ДФМ-разрез представляет собой оценку общего давления в каждом дискрете исходной трассы, которая цветовым растром накладывается на обычное изображение временного разреза (расположение профиля: рис. 2). Красно-желтые тона означают состояние разгрузки (пониженное общее давление, относительно нормального литостатического давления), синезеленые тона отражают нормальное или повышенное сжатие.

Нижнемеловые отложения Широного Приобья (пласты групп А и Б) представляют собой глинисто-песчаную толщу преимущественно прибрежно-морского генезиса. Мощность песчаных нефтеносных пластов в пределах месторождения в среднем колеблется от 30 до 60 м. Эффективные и эффективные нефтенасыщенные толщины по ряду пластов достигают 20 м. Выдержанность литологических тел в этой части разреза значительно выше по сравнению с другими интервалами осадочного чехла. В полном поле данная толща представлена в виде динамически неустойчивых отражений, кинематическая и динамическая интерпретация которых в отдельных случаях затруднительна и не всегда однозначна. Поле средних значений ДФМ для интервала нижнемеловых отложений характеризуется единой динамически выраженной аномалией, которая в плане соответствующей сводовой части Ван-Еганского поднятия и в целом хорошо согласуется со всеми контурами полей нефтегазоносности пластов АЗ-7 и БВЗ-8.

В качестве примера в настоящей работе нами приведены результаты расчетов поля ДФМ для временного интервала пласта БВ6, в 20 миллисекундном окне (рис. 2). Характер распределения поля ДФМ в пределах указанного интервала, в целом близок пластам группы "Б", в которых



наблюдается структурная приуроченность положительных аномалий ДФМ к сводовой части Ван-Еганского поднятия. Границы аномальной зоны практически совпадают с внешним контуром нефтеносности пласта БВ6 при принятом уровне ВНК на абсолютной отметке - 2050 м. Особенно отчетливо это проявляется в северной и южной частях площади. Такое распределение аномалий, по нашему мнению, может быть непосредственно связано с историей разработки месторождения. На рис. 2 крупными кружками показаны скважины с максимально накопленной добычей. Они приурочены к центральной части месторождения, откуда, собственно, и начиналась его интенсивная эксплуатация. При этом на участке 3D съемки 1995 года, в северной части планшета месторождения, преобладают "теплые" тона, соответствующие максимальным значениям атрибута ДФМ, характерным для вышеупомянутых зон "разгрузки". По мере добычи нефти и заводнения месторождения литостатическое давление изменялось, что и нашло свое отражение на материалах съемок 3D, выполненных пять лет спустя в 2000 г. На приведенной на рис. 2 карте ДФМ для пласта БВ6, в центральной ее части, распределение давления представлено зоной развития "холодных" тонов со смещением значений ДФМ в сторону отрицательных значений. В южной части планшета, где интенсивная эксплуатация началась значительно позднее, опять преобладают "теплые" тона максимальных значений ДФМ. Таким образом, по мере реализации на месторождении системы поддержания пластового давления путем закачки в пласт воды, происходит расширение зон "загрузки", за счет сокращения площади зоны "разгрузки", которые в плане отражают локальные неоднородности создаваемого поля повышенных давлений [3].

Эффективные толщины пласта БВ6 в среднем меняются по площади исследования от 10 до 20 м. Согласно промысловым данным, наблюдается тенденция к их увеличению в северном, северо-западном, северо-восточном и юго-восточном направлениях. Выделенные локальные максимумы ДФМ в северо-западной и восточной частях площади по-

видимому связаны с увеличением количества песчаного материала в исследуемом интервале разреза. По аномалиям ДФМ в интервале пласта за пределами залежи можно выделить три перспективные зоны:

- На восточном склоне структуры, в районе скважины 124, 158-наиболее перспективная.
- На западном склоне структуры в районе скважины 3649, 3445.
- На северной периклинали структуры в районе скважины 141.

По-видимому, здесь следует ожидать локальные структурные залежи, гипсометрически расположенные "ниже" принятой по месторождению отметки ВНК. Отдельные менее выразительные локальные максимумы ДФМ по пласту БВ6 и в других частях площади. Геологическая природа их не ясна. Возможно это проявление технологических факторов, связанных с зонами потери кратности в краевых частях площади съемки 3D, на участках развития речной сети и т.п. Не исключен также вариант наличия аномалии, связанной с миграцией УВ в процессе формирования залежи, который в масштабе геологического времени мог происходить совсем недавно и оставить "следы" в сейсмическом волновом поле. Указанная миграция имела в основном вертикальный характер с последующим перераспределением УВ в отдельные резервуары-ловушки по laterали.

Опыт проведенных работ показывает, что использование методики ДФМ даст нам еще один тип информации, который может быть извлечен из атрибутов сейсмических сигналов и контролируется вполне объективными физическими критериями. Наблюдается прямая корреляция значений параметра ДФМ со структурно-тектоническими и литологическими особенностями осадочных комплексов горных пород. Выполненный анализ показывает:

- Форма аномалий ДФМ в той или иной мере контролируется структурным планом.
- Минимальные значения ДФМ тяготеют к глинистым участкам разреза, а максимальные значения приурочены к зонам повышенной песчаности.

• Скважины с наибольшей накопленной добычей (с максимальными отборами продукта) располагаются либо в зонах с относительно пониженными значениями ДФМ, либо в пограничных зонах между высокими и низкими значениями.

• Наиболее высокие значения ДФМ отмечаются внутри контуров нефтеносности и приурочены к слабо затронутым разработкой участкам.

Таким образом, параметр ДФМ можно использовать как некую меру нефтегазонасыщения: чем больше значения ДФМ, тем выше вероятность присутствия углеводородов. В определенных благоприятных сейсмогеологических условиях, он может служить прямым индикатором присутствия промышленных концентраций УВ. В связи с этим предполагается высокая степень успешности прогноза прямых поисков.

Литература

1. Ильин С.Н., Копунов С.Э., Хафизов С.Ф., Хортов А.В. "Латеральные градиенты скоростей в нижнемеловом комплексе Среднего Приобья и причины их возникновения". Геофизика. 2002, Специальный выпуск "Геомодель-2002", с. 62-65.
2. Копунов С.Э., Степанов И.В., Хортов А.В., Чехова Н.И. "Прогнозирование залежей УВ в различных осадочных бассейнах России по результатам использования технологии ДФМ". Тезисы докладов научно-практической конференции "Геомодель-2003", отделение геофизики Геологического факультета МГУ, 2003 г., с.66-69.
3. Писецкий В.Б., Федоров Ю.Н. "Динамика - флюидный метод прогноза и анализа месторождений нефти и газа по сейсмическим данным". В сб. "Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО", под редакцией Шпильман В.И. и др., 1998, Ханты Мансийск.
4. Verm R., Hilterman F., Lithology color-coded seismic sections. The calibration of AVO crossplotting to rock properties // The Leading Edge. 1995 Vol. 14, №8, p847-853.

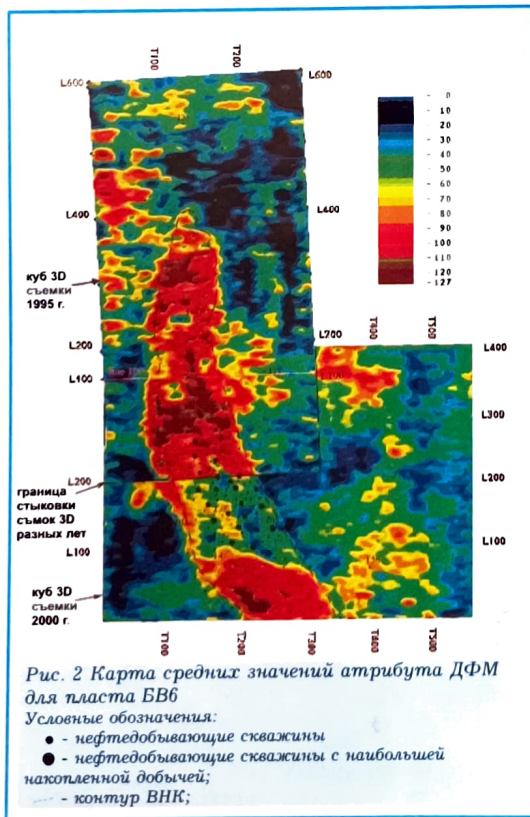


Рис. 2 Карта средних значений атрибута ДФМ для пласта БВ6

Условные обозначения:

- нефтедобывающие скважины
- нефтедобывающие скважины с наибольшей накопленной добычей;
- контур ВНК;

Возможности выявления дополнительных ресурсов в традиционных нефтегазовых провинциях

Кулаков В.И., Бродский А.Я., Пыхалов В.В., ГУДП "Астраханская геофизическая экспедиция", г. Астрахань

Успех поисков ловушек углеводородов напрямую зависит от достоверности и точности геологических представлений о регионе, районе и соответственно площади и участке исследования.

В эпоху социализма в основу геологического изучения территорий были заложены две основные концепции, позволяющие сделать впоследствии СССР одним из главных поставщиков углеводородного сырья в мире: стадийность и непрерывность.

Под стадийностью понималось исследование территорий работами разных масштабов и рангов (региональные, затем поисковые, далее разведочные и детальные). При этом геологический разрез исследовался с той разрешенностью и глубиной, которые позволяли достичь существовавшие на то время технические и методические средства (ГСЗ, КМПВ, МОВ, МОГТ и т.д.). Накопленный материал на каждой из стадий позволял решать научно-производственные региональные задачи (геотектоники, геодинамики, определения условий формирования регионов, сейсмо-фациального районирования, оценки нефтегазового потенциала и т.д.), поисково-разведочные (локализация объектов поиска, определения типа ловушек УВ) и детальные исследования (подготовка объектов к бурению).

Благодаря такой схеме до 90-х годов были открыты крупнейшие, крупные и множество мелких месторождений нефти и газа на территории России и за ее пределами, обеспечивался опережающий прирост структур, подготовленных к глубокому бурению. Безусловно, система была не идеальна. В связи с необходимостью выдавать план по структурам, были и слабо подготовленные объекты, но в то же время СССР стал одним из основных экспортеров углеводородного сырья в мире.

За 1990-2000 годы практически объемы геофизических исследований значительно сократились и, как следствие, значительно уменьшилось количество открытий новых месторождений. Нефтегазовые компании ограничивались доразведкой лицензионных площадей с уже открытыми месторождениями.

Несмотря на забвение основополагающих принципов геологического изучения территорий, в эти годы резко возросли возможности геофизиков при решении геологических задач сейсмическими методами. Этому способствовал доступ к импортным средствам сбора информации, вычислительной техники и программным средствам.

Отечественные производители геофизического оборудования и программных продуктов в условиях жесточайшей конкуренции, иногда совместно с зарубежными партнерами, смогли наладить разработку и выпуск геофизических средств разведки. На сегодняшний день существуют хорошо себя зарекомендовавшие технические средства (телеметрические системы Прогресс-Т2 (г. Саратов), приборы GX 20 и сейсмические кабели, разъемы (г. Уфа) и т.д.), а

так же программные средства (SCS 5, INPRESS, VELINK, ВЛН и т.д.) адаптированные к Российским условиям и, по своим характеристикам, не уступающие лучшим европейским и американским образцам.

При использовании современных технических и программных средств появляется возможность по-новому смотреть на те геологические данные, которые были паработаны в прошлые годы. Это позволяет вырабатывать новые идеи и направления, как в научном, так и прикладном плане: выявлять новые типы ловушек углеводородов, которые в былые годы были не выявлены вследствие технических ограничений полевой аппаратуры и вычислительных средств; создавать более полную геологическую модель; выявлять особенности строения территорий, как на региональном уровне, так и при детализационных исследованиях и уже казалось бы хорошо изученных нефтегазовых провинциях.

Повышение чувствительности и динамического диапазона полевой аппаратуры, способов и методик возбуждения и сбора информации позволяют зарегистрировать более слабые сигналы, тем самым повысить, как разрешенность сейсмической записи, так и глубину исследований, сделать доступными для глаз интерпретатора те особенности волновой картины, которые ранее либо были несильно выражены, либо не могли быть зарегистрированы.

Для иллюстрации таких особенностей приведем несколько примеров проведения подобных исследований на достаточно плотно изученном нефтегазовом регионе Нижнего Поволжья - Астраханском своде с использованием отечественной полевой аппаратуры (сейсмостанции типа "Прогресс Т2") и отечественных программ, систем обработки и интерпретации материалов (типа VELINK, SISD и др.).

Региональные сейсмические профили, отработанные в 80-е годы прошлого века на северном склоне Астраханского свода, позволили выявить принципиальные моменты и особенности его строения. В то же время как-либо значимые локальные объекты, перспективные для поисков УВ, выявлены не были.

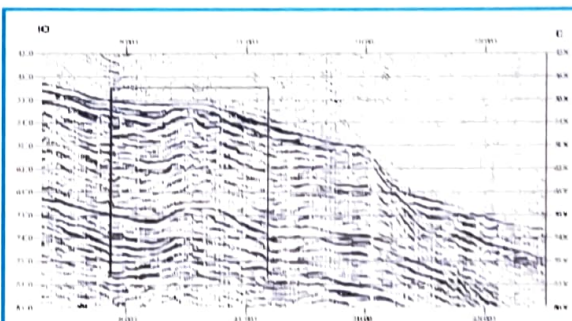


Рис. 1 Изолированные рифовые постройки на северном склоне Астраханского свода

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



Выполненный в 2002-2003 годах силами АГЭ региональный профиль I-RSP практически совпадающий с профилями прошлых лет, но отработанный и обработанный с использованием современных технологий позволил по-новому взглянуть на этот, ранее считавшийся малоперспективным, район. На рис. 1 показан фрагмент глубинного динамического разреза по профилю I-RSP. В интервале глубин 5100-7000 м отчетливо видны зоны, показывающие наличие холмообразных сейсмофаций при наличии хорошо выраженных границ облекания. Такие объекты, ранее не проявлявшиеся в волновом поле на этой территории, могут быть проинтерпретированы как изометрические рифовые постройки.

Учитывая, что на восточном склоне Астраханского свода в районе подобных объектов открыто два газовых месторождения (Алексеевское и Табаковское), выявленные тела могут быть интересными.

Ряд задач требует не только использования современных технических и программных средств, но и разработки специальных методик, как полевой обработки, так и извлечения геологической информации и повышения вертикальной разрешенности. В частности, повышение вертикальной разрешенности сейсморазведки МОГТ при изучении подсолевых отложений Астраханского свода, при сложных поверхностных условиях и соляном диапиризме (когда линейные размеры диапира меньше длины расстановки). Безусловно, нет общего решения проблемы для всех случаев. Коснемся лишь эффективности использования современных аппаратных средств совместно со знаниями и опытом работы на конкретной территории Астраханского свода.

Теоретические аспекты проблемы достаточно хорошо освещены в отечественной и зарубежной литературе. Общие подходы к решению проблемы были определены в середине прошлого века. В 1946 - 1950 гг. Г.А. Гамбурцев, И.С. Берзон и другие разработали методику сейсморазведки высокого разрешения. Она основана на применении маломощных излучателей, размещенных под ЗМС и широкодиапазонной регистрирующей аппаратуры. Было показано, что глубинность сейсморазведки снижается из-за недостаточной интенсивности возбуждаемого волнового поля в связи с применением маломощных точечных излучателей, необходимых для повышения частоты сигнала, и из-за быстрого понижения высокочастотной компоненты сигнала с глубиной. Из теории сферического излучателя, разработанного И.И. Гувиным, следует, что спектр сейсмического сигнала зависит от массы заряда и физических свойств пород, в которых он размещен. С увеличением мощности источников спектры смешаются в область низких частот.

В реальных средах высокочастотные составляющие затухают значительно быстрее, чем низкочастотные. Поскольку маломощные излучатели снижают глубинность разведки, то заряд определяют исходя не из частотного состава сигнала, а по интенсивности записи в целевом диапазоне регистрации. Недостаток интенсивности компенсируют увеличением мощности источника. Это снижает частотный диапазон сигнала, повышает интенсивность

кратных волн. Используя базу группирования, низкоскоростную составляющую волнового поля подавляли, хотя при этом снижалась высокочастотная составляющая волнового поля. Как следствие, падала разрешенность сейсморазведки. Реализуя существовавшие на то время возможности, при проведении работ, как правило находили оптимальное соотношение между величиной заряда (или группирования вибраторов), апертурой наблюдения и стоимостью работ.

Использование такого методического подхода позволило советским геофизикам совершить открытия нефтяных и газовых месторождений, в том числе и одного из крупнейших в мире Астраханского газоконденсатного месторождения.

По суммарным разрезам, отработанным и обработанным в 1973-1986 гг., достигнута максимальная вертикальная разрешенность для подсолевых отложений, которая при длине волны 300 м составляет не более 100-150 м. Если учесть влияние солянокупольного диапиризма, то для изучения внутренней структуры отложений такая разрешенность явно недостаточна. Переобработка материалов по современным программам и технологиям позволила повысить вертикальную разрешенность сигналов до 70-100 м. Безусловно это шаг вперед для изучения внутренней структуры палеозойских отложений Астраханского свода.

С появлением современных телеметрических систем и технологий обработки сейсмического сигнала появилась реальная возможность решения этой проблемы без существенного удорожания работ.

Одним из способов повышения вертикальной разрешенности было использование современных телеметрических систем и современных виброустановок, производящих широкий спектр возбуждения свип-сигнала с одновременным группированием излучателей. Такие работы были проведены на северо-восточном борту Астраханского свода (компания Петроальянс) в 2002 г. с использованием в качестве источника 3 виброустановок МЕРЦ, и телеметрической регистрирующей аппаратурой INPUT/OUTPUT-2. Обработка проводилась с использованием современных импортных программных средств. Полученные результаты показали значительный прирост разрешенности в неглубоких (1,5 - 2 км) мезо-кайнозойских отложениях и незначительное повышение вертикальной разрешенности в подсолевых (длина волны составляет 200 м, предельная вертикальная разрешенность 100 м). При этом отмечается не всегда выраженная когерентность и прослеживаемость основных реперных горизонтов, внутренняя структура подсолевых отложений практически не читаема.

Такой результат не стал неожиданным. Район исследований имеет сложное орографическое и сейсмогеологические условия. Дневная поверхность представляет собой незакрепленные пески и барханы. Зона малых скоростей представлена в основном песчанком и рыхлыми глинами мощностью 18-20 м. Такие поверхностные условия приводят к резкому поглощению энергии высоких частот, а пересеченный рельеф ограничивает возможности одноуровневого группирования вибраторов. Источники возбуждения колебаний (вибраторов)

КСМ, ТСК).

Анализ результатов работ, проведенных на Астраханском своде, показывает, что решение проблемы лежит в использовании современной ретрансмирующей аппаратуры и точечных (либо сгруппированных на небольшой базе) малоомощных излучателей. Например, при использовании телеметрической системы Прогресс Т2, возбуждении сигнала под ЗМС и снижении веса заряда на 40 % (с 2,5 до 1,6 кг) удается повысить видимый частотный диапазон с 25 до 30 Гц и подсолевых отложений.

Анализ сейсмических материалов показывает, что затухание высоких частот происходит не равномерно по разрезу с глубиной. Основной подавляющей средой для высоких частот является верхнемеловые карбонатные отложения на глубинах 600-800 м. Эксперименты показали, что если использовать точечный излучатель, то с уменьшением веса заряда происходит повышение видимой частоты в подсолевых отложениях с резким уменьшением соотношения сигнал/помеха. Отсюда решение проблемы видится в подборе таких методических приемов, при которых можно было бы соотнести более высокую частоту и достижения такого соотношения сигнал/помеха, которое позволило бы решить геологическую задачу при обработке материала. То есть одновременно с изменением полевой методики использовать методические приемы, направленные на повышение соотношения сигнал/помеха.

Одним из таких способов являются шумоподавляющие фильтры. При экспериментальных работах нами был использован фильтр, основанный на представлении волнового поля в виде степенного ряда. При этом малые степени ряда характеризуют когерентную часть волнового поля, а высокие, некогерентную. Использование такого подхода позволило повысить соотношение сигнал/помеха.

Фильтры такого рода не являются чем-либо особенным, поэтому мы говорим лишь о конкретных сейсмогеологических условиях, где они дают положительный эффект.

Специалисты АГЭ разработали и приняли ряд технических приемов, как при проведении полевых работ, так и обработке сигналов. В результате работ на северной периферии

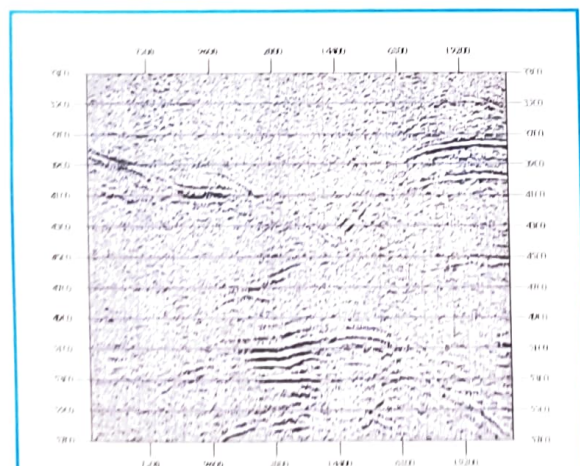


Рис. 2 Структура девонско-каменноугольных отложений в зоне сочленения Астраханского свода и Сарпинского прогиба. (Работы 2004 г., ТСС "Прогресс-Т2", АГЭ)

Астраханского свода с использованием полевой аппаратуры и обрабатывающих средств российского производства ("Прогресс Т2") была достигнута вертикальная разрешенность на глубинах 6-7 км порядка 70-75 м. На рис. 2 приведен фрагмент временного разреза, впервые показывающий сложность геологического строения девонско-каменноугольных отложений в зоне сочленения Астраханского свода и Сарпинского прогиба (Работы 2004 г., ТСС "Прогресс-Т2", АГЭ).

При решении поисковых и разведочных задач использование современных технических средств позволяет выявить те закономерности, которые раньше рассматривались как недоработки исполнителей (в связи с нечеткостью и неясностью их проявления в волновом поле). Так при детальных работах 2003 года в зоне сочленения Эпигеринской и Русской платформ были отчетливо выявлены зоны влияния палеотектонических напряжений в карбонатных меловых отложениях (рис.3), которые проявляются в виде малоамплитудных складок.

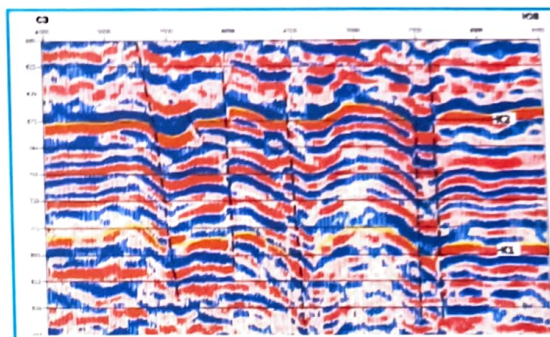


Рис. 3 Особенности строения меловой карбонатной платформы, связанные с горизонтальным напряжением в зоне сочленения эпигеринской и русской платформ. (2003 г., ТСС "Прогресс Т-2", АГЭ)

При этом особенностью разреза является наличие как бескорневых малоамплитудных разрывных нарушений, так и флексидрообразных изгибов, только в жестких карбонатных отложениях. В вышележащих и в нижележащих песчано-глинистых пачках следствий бокового сжатия не выявляется из-за более пластичных свойств этих горных пород. Наличие зон неравномерного напряженного состояния территории позволяет по-новому взглянуть на условия формирования залежей углеводородов в мезо-кайнозойское время и использовать геодинамические критерии при исследовании объектов.

Таким образом, использование современных телеметрических систем, методических приемов и программных средств позволяют на новом качественном и количественном уровне приступить к решению не только локальных задач (определения нефтегазоперспективных объектов), но и вновь вернуться к традиционной схеме стабильности изучения нефтегазовых провинций.

Проведение дополнительных региональных и поисково-разведочных работ позволит по-новому взглянуть на потенциал уже известных месторождений углеводородного сырья.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



Применение интерпретационного подхода для коррекции средне- и длинно-периодной составляющих статики в условиях развития многолетне мерзлых пород

Королев Е.К., Королев А.Е., Хайретдинова Е.М., ООО "Парадайм геофизикал", г. Москва

Наличие многолетней мерзлоты значительной мощности и мозаичного строения по площади является одним из главных факторов, определяющих сложность сейсмогеологических условий севера Западной Сибири и одной из главных, если не основной, причинной низкого качества сейсмических материалов. Чередование мерзлых терригенных пород с зонами "растеплений", при котором контраст (отношение) скоростей продольных волн на границах достигает 2-3, вызывает резкое изменение не только волновой картины, но и частотного состава регистрируемых волн. С зоной многолетнемерзлых пород (ЗММП) неразрывно связаны явления дифракции, поглощения и рассеивания энергии отражений, возникновение обменных волн на границах неоднородностей, а также, сложность и нестабильность поля помех. Существенно, что зачастую, растеплениям ЗММП на поверхности сопутствуют озера и болота, приводящие к невозможности реализовать на этих участках полевые наблюдения с оптимальной кратностью, что еще более осложняет проблему получения качественной сейсмической информации в данных условиях.

В соответствии с вышесказанным, ключевыми элементами, определяющими качество результатов данных в таких условиях, являются процедуры обработки, устраняющие влияние неоднородной ЗММП. Проблемы, связанные с изменением частотного состава и низким отношением сигнал/помеха, в значительной степени решаются путем применения поверхностно-согласованной деконволюции и последующей балансировки спектра. Наиболее трудной задачей, которую необходимо решить, является определение и коррекция временных сдвигов отражений, вызванных приповерхностными скоростными неоднородностями.

Важнейшие характеристики временных сдвигов, искажающих оси синфазности отражений - это их пространственная протяженность и амплитуда.

Единицей измерения пространственных частот является длина приемной расстановки (D). Возможность и точность учета по сейсмическим данным искажений времен отражений, вызванных протяженными неоднородностями - "статическими аномалиями" - зависит от диапазона частот их пространственных спектров. Выделяются короткопериодные (КП) - с периодом меньше $0,5D$, среднепериодные (СП) - с периодом от $0,5D$ до $2,0D$ и длиннопериодные (ДП) - с периодом более $2,0D$ - составляющие временных сдвигов [1]. Необходимо учесть, что деление на диапазоны в достаточной степени условно. В зависимости от времени отражений T_0 и величины миксина одна и та же аномалия может быть коротко-периодной по глубокому горизонту и средне- или длиннопериодной для малых времен. Поэтому под длиной приемной расстановки следует понимать эффективную длину базиса, на которой производится суммирование. Еще сложнее обстоит дело с анализом поверхностных искажений при 3D

наблюдениях, когда в зависимости от выбранного направления (инлайн, кросслайн) наблюдаются различные варианты пространственных искажений, вызванные одной и той же неоднородностью.

Единицей измерения, характеризующей величину временных сдвигов, является T - видимый период колебания отраженной волны.

По величине выделяются малоамплитудные и высокоамплитудные сдвиги. К малоамплитудным относятся сдвиги с приращением от канала к каналу до $0,5 T$, а к высокоамплитудным - сдвиги с приращением более $0,5 T$ [1]. Очевидно, что наличие высокоамплитудных статических сдвигов проявляется более сильно и приводит к практически полной потере корреляции горизонтов на суммарных временных разрезах. В реальных условиях высокоамплитудные короткопериодные временные сдвиги, как правило, приурочены к границам неоднородностей.

Выделенным выше пространственным диапазонам временных сдвигов соответствуют различные их проявления на суммарных временных разрезах. Коротко-периодные сдвиги сказываются на качестве накопления, не изменяя положения линии T_0 , длинно-периодные - приводят только к структурным искажениям горизонтов, не влияя на качество суммирования. Средне-периодным сдвигам свойственно и то и другое. Из этого становится ясно, что различные по пространственной протяженности и амплитуде составляющие временных сдвигов, вызываемых верхней частью разреза (ВЧР), требуют различных подходов к коррекции поправок.

Малоамплитудные коротко-периодные составляющие, как правило, достаточно хорошо корректируются автоматическими процедурами, основанными на алгоритмах максимизации энергии суммирования [2] или путем решения системы 4-х факторных уравнений для наблюдаемых сдвигов методом Гаусса-Зейделя [3]. С коррекцией высокоамплитудных коротко-периодных статических поправок справляются методы глобальной оптимизации, например, метод Монте-Карло [4].

При наличии высокоамплитудных временных сдвигов на протяженных неоднородных зонах, автоматические способы коррекции статических поправок сталкиваются с затруднениями. Для учета аномалий средне- и длинно-периодного диапазона исключаются способы, основанные на оценке мощности суммирования или глобальной оптимизации, поскольку аномалии этого диапазона слабо влияют на энергию суммирования. Возможно определение лишь наиболее высокочастотных составляющих аномалий, проявляющихся на границах неоднородных зон.

Стандартным путем для преодоления упомянутых проблем - т.е. подготовки данных для выполнения автоматической коррекции статики - является применение процедур расчета предварительной статики с использованием волн в первых вступлениях. Однако опыт обработки данных в условиях ЗММП показывает, что подход с использованием предомненных волн нередко

сталкивается с затруднениями, связанными с тем, что высокоскоростные прослои на многих участках экранируют предомненные волны от лежащих под ними границ, либо делают неточной их интерпретацию. Только привлечение дополнительной информации, введение определенных ограничений на получаемые результаты и принятие интерпретационных решений уже на стадии обработки делает возможным учет средне- и длинно-периодных аномалий. Неоднозначность решения, требующая перебора вариантов, разнородность информации, чаще качественной, чем количественной, делает необходимым участие геофизика. Это означает интерактивную организацию процесса коррекции, с использованием автоматических процедур на отдельных этапах в качестве своеобразного цемента, закрепляющего достигнутые решения.

Одним из наиболее эффективных способов коррекции высокоамплитудных средне-периодных статических аномалий, является интерактивная методика коррекции статических поправок (ИМКСП) [5]. Ее концепция состоит в формировании статических поправок как модели временных сдвигов, адекватно отражающей неоднородности ВЧР, включая следующие этапы:

- выделение зон неоднородностей по профилю (площади);
- определение приращений времени пробега волн на границах неоднородности и предварительная оценка статической аномалии;
- уточнение временной модели аномалии путем чередования решения прямой и обратной задач во временной области;
- дополнительная автоматическая коррекция разных составляющих статических поправок.

Важным компонентом методики являются способы извлечения информации о неоднородностях из обрабатываемых сейсмических материалов. Для выделения зон неоднородностей и оценки уровня временных задержек в их пределах используются:

- различные схемы суммирования трасс (получение полных и частичных - в разных диапазонах удалений, в том числе с кусочно-фиксированным положением баз суммирования [5] - сумм ОТВ, ОТП, ОГТ);
- отдельные сейсмограммы (с введением кинематических поправок), на которых оси синфазности выделяются достаточно уверенно;
- годографы первых вступлений либо подборки трасс равных удалений для начальной части записи;
- горизонтальные спектры скоростей $V_{\text{гор}}$, как по полной расстановке, так и по половине ее;
- результаты суммирования (ОТВ, ОТП, ОГТ) с введением различных вариантов временных задержек как статических поправок.

Задача учета длинно-периодных составляющих статики не может быть формально решена на этапе обработки. Для этого необходим интерпретационный подход, который позволял бы диагностировать наличие таких неоднородностей, оценивать величину вызванных ими искажений и устранять их влияние.

Использованный нами подход предполагает сочетание стандартных процедур расчета и коррекции статики (в том числе ИМКСП) для устранения коротко- и средне-периодных составляющих с учетом плавных длинно-периодных искажений линий T_0 путем замещения верхнего неоднородного слоя однородной средой с



постоянной скоростью. Анализ скоростей, как правило, становится возможным после устранения сдвигов, разрушающих суммирование, и его качество может служить критерием достаточности выполненной коррекции. Замещение слоя выполняется при предположении о вертикальности лучей сейсмических волн в ВЧР, т.е. без учета преломления [6].

Последовательность операций представлена в виде блок-схемы на рис. 1. Входными данными являются временной куб (в случае 2D - разрез) и сейсмограммы после коррекции коротко- и средне-периодных статических сдвигов. По временному кубу выбирается горизонт, который располагается максимально близко к подошве ВЧР и при этом имеет спектры скоростей хорошего качества. Для него строится карта изохрон $T_0(X,Y)$, рассчитываются спектры интервальной скорости, и строится карта $V_{\text{инт}}(X,Y)$. С помощью лучевой миграции карты $T_0(X,Y)$ получают структурную карту $N(X,Y)$.

Если на площади работ имеется скважинная информация, проводится уточнение структурной карты по скважинным данным. На основе этого уточняется и карта интервальной скорости.

Далее выполняется замещение этого слоя слоем с постоянной скоростью, соответствующей или растепленным, или мерзлым породам. Как правило, скорость замещения выбирается на основе скважинных данных и согласуется с геологами. Полученная на основе замещения слоя карта длинно-периодной статической поправки вводится в сейсмограммы, после чего выполняется дополнительная коррекция коротко- и средне-периодных компонент статики.

Финальным является временной куб и сейсмограммы, свободные от влияния длинно-

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



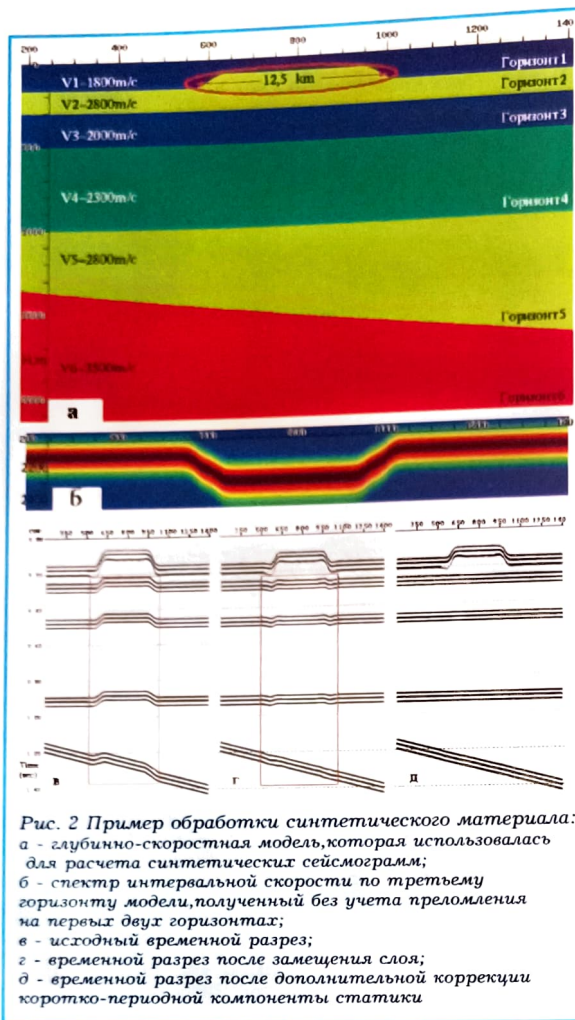


Рис. 2 Пример обработки синтетического материала: а - глубинно-скоростная модель, которая использовалась для расчета синтетических сейсмограмм; б - спектр интервальной скорости по третьему горизонту модели, полученный без учета преломления на первых двух горизонтах; в - исходный временной разрез; г - временной разрез после замещения слоя; д - временной разрез после дополнительной коррекции коротко-периодной компоненты статики

периодных искажений, вызванных скоростными неоднородностями ВЧР.

Предложенная методика успешно реализуется в рамках систем Focus и GeoDepth.

Проиллюстрируем приведенный выше способ коррекции длинно-периодной компоненты статики примерами обработки синтетического и реальных материалов 2D и 3D.

На рис. 2а изображен глубинно-скоростной разрез, моделирующий статическую аномалию, вызванную ЗММП переменной мощности. Слой, моделирующий ЗММП, в центральной части осложнен трапециевидальной аномалией, мощность которой составляет 80 м, а протяженность 12,5 км. Модель построена по обобщенным данным, и является типичной для условий Западной Сибири. Скорости выбирались на основе данных ВСП по скважине, находящейся в зоне развития многолетне мерзлых пород. Модель рассчитана с учетом преломления. Для расчета синтетических сейсмограмм использовалась фланговая расстановка с максимальным удалением 4,8 км. Таким образом, аномалия на модельном примере имеет протяженность более двух длин расстановки и может быть отнесена к длинно-периодной.

На рис. 2б представлен спектр интервальной скорости по третьему горизонту модели, полученный по синтетическим данным без учета преломления на первых двух границах. В центральной части профиля на спектре наблюдается увеличение скорости, обусловленное переменной мощностью слоя, моделирующего ММП.

На рис. 2 в, г и д представлены: исходный вре-

менный разрез с искажением по времени линий T_0 на всех горизонтах (в), временной разрез, полученный после замещения слоя, на котором устранены длинно-периодные искажения, в котором присутствуют коротко-периодные искажения, но дополнительные коррекции коротко-периодных сдвигов (д). Видно, что на финальном временном разрезе полностью устранено влияние как длинно-, так и коротко-периодных составляющих статики, что свидетельствует об эффективности предложенной методики.

На рис. 3 представлены фрагмент временного разреза 2D до (а) и после (в) учета влияния длинно-периодной компоненты статики. Плавные, унаследованные искажения статики успешно устраняются при замещении линии T_0 скоростью, определенной по верхнему слою со спектра скорости (спектр скорости приведен на рис. 3б) постоянной.

На рис. 4 и 5 представлены результаты обработки и интерпретации с учетом влияния ЗММП по данным 3D.

Рис. 4 демонстрирует сравнение карт изохрон по верхнему горизонту до (а) и после (б) коррекции длинно-периодной компоненты статики, карты интервальной скорости (в) и структурной карты (г). Карта интервальной скорости имеет достаточно сложный характер и обратно коррелируется с картой изохрон до коррекции за ЗММП. После учета искажающего влияния мерзлоты поле времен (в) имеет гораздо более простой структурных план и повторяет поведение поля глубин (г).

На рис. 5 представлен фрагмент вертикального сечения временного куба до (а) и после (б) коррекции за ЗММП. На рисунке красным прямоугольником выделена зона растепленных пород до и после коррекции длинно-периодной компоненты статики. Хорошо заметно, что характерные для растепленных участков увеличения времен на всех горизонтах (рис. 5а)

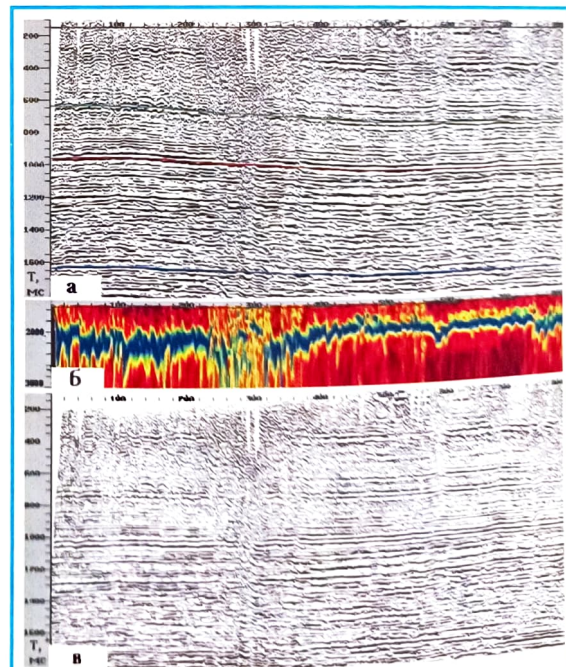
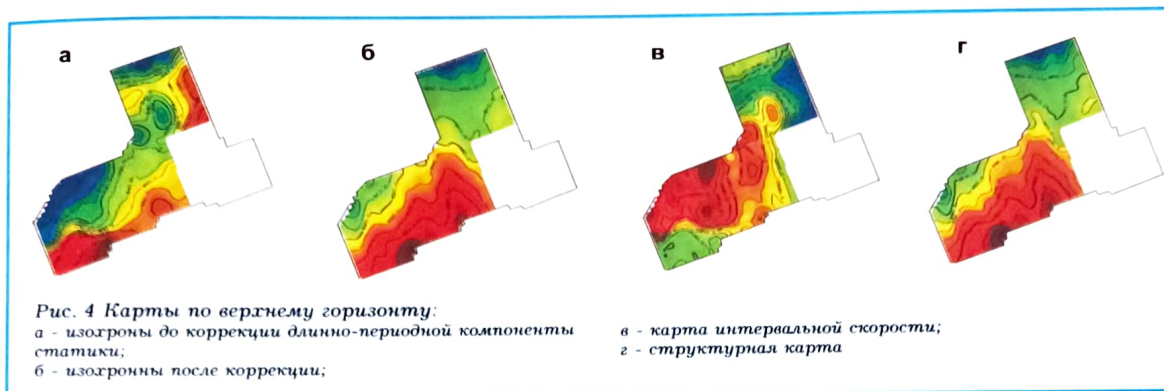
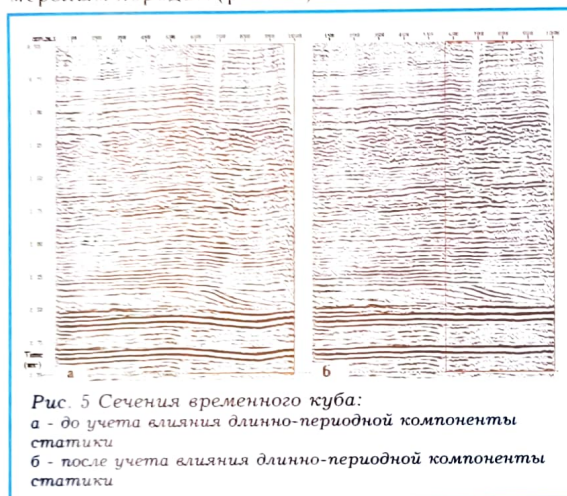


Рис. 3 а - фрагмент временного разреза 2D до учета длинно-периодной компоненты статики; б - спектр интервальной скорости по верхнему горизонту до учета длинно-периодной компоненты статики; в - фрагмент временного разреза после учета длинно-периодной компоненты статики



полностью отсутствуют на разрезе после замещения верхнего неоднородного слоя постоянной скоростью, соответствующей мерзлым породам (рис. 5б).



Подводя итог выше сказанному, хотелось бы подчеркнуть, что предложенный метод учета длинно-периодных искажений основан на объективном критерии - анализе интервальных скоростей, что позволяет, прежде всего,

диагностировать наличие неоднородностей, а затем уже оценить их величину и устранить влияние. Этим предлагаемая методика выгодно отличается от часто применяющегося формального сглаживания горизонтов, которое не выявляет физическую природу наблюдаемой аномалии, а лишь обеспечивает ее формальное устранение, на основе сглаживания горизонтов, используя при этом субъективные критерии при выборе базы сглаживания.

Литература

1. Шнеерсон И.Б., Козырев В.С., Королев Е.К. и др., 1983. Отчет по теме "Разработка способов учета неоднородностей верхней части разреза в сложных поверхностных сейсмогеологических условиях и основ методики работ с невзрывными источниками колебаний", Наро-Фоминское отделение ВНИИГеофизики.
2. Ronen J.W. and Claerbout J.F., 1985. Surface-consistent residual statics estimation by stack-power maximization. Geophysics 50: 2759-2767.
3. Wiggins et al., 1976. Residual Statics as a General Linear Inverse Problem. Geophysics 41: 922-938.
4. Daniel H. Rothman, 1986. Automatic estimation of large residual statics corrections. Geophysics 51: 332-346.
5. Козырев В.С., Королев Е.К., 1994. Интерактивная методика коррекции статических поправок для условий сложного строения верхней части разреза. Геофизика, 3: 13, 19.
6. Robinson C and Lerner K., 2000. Datuming and layer replacement: When are static corrections sufficient? SEG Expanded Abstracts.

ПОДПИШИСЬ

Персональная информация о подписчике/Почтовый адрес организации

ФАМИЛИЯ		ИМЯ		ОТЧЕСТВО	
ПОЛНОЕ НАИМЕНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ					
ОТДЕЛ/ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ			ДОЛЖНОСТЬ		
ИНДЕКС	СТРАНА	ГОРОД	ОБЛАСТЬ/РАЙОН		
АДРЕС					
КОД ГОРОДА	ТЕЛЕФОН	ФАКС	E-MAIL		

Россия, 410019, г. Саратов, ул. Крайняя 129, СО "ЕАГО" - в редакцию "Приборы и системы разведочной физики"

Стоимость годовой подписки (с почтовой пересылкой и НДС - 10%)

Наименование издания	1 комплект	2 комплекта	3 комплекта	4 комплекта
Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики"	1600 руб.	3200 руб.	4850 руб.	6400 руб.





Сопоставление источников сейсмического волнового поля по тротиловому эквиваленту

Колосов Б.М., ЗАОр "НП "Запприкаспийгеофизика", г. Волгоград

ОБМЕН ОПЫТОМ

Журнал Саратовского отделения ЕАГО "Приборы и системы разведочной геофизики" в январе 2003 года выпустил тематический номер "Источники возбуждения геофизических полей", в котором опубликованы статьи об эффективности использования в сейсморазведке различных источников: взрывных, электромеханических, пневматических и вибрационных, - приводятся основные технические характеристики устройств, включая силовые и энергетические параметры излучателей [2].

Многообразие источников порождает и многообразие единиц измерения силовых параметров излучателей, сопоставление которых

между собой вызывает известные затруднения.

Вместе с тем в недавнем прошлом основным источником возбуждения при сейсморазведочных работах являлся взрыв, при котором для возбуждения сейсмических колебаний использовалось и используется большое разнообразие взрывчатых материалов. Энергоемкость ВВ колеблется в пределах 3000-4000 кДж на 1кг ВМ. Расширение видов источников возбуждения в сейсморазведке, включая механические, газодинамические, пневматические, электродинамические, вибрационные, заставляет искать общий эквивалентный параметр для их сравнительной оценки.

Таблица 1 Силовые параметры импульсных и вибрационных источников

Источник	Кол-во	Паспортные параметры		Расчетные параметры	
		силовой параметр	Кол-во единиц	энергия в кДж	тротил эквив-т
1.Тротил	1кг	Энергия	3800 кДж	3800	1000 г
2. "Геотон"	1шт	Сила воздействия на излучающую поверхность в импульсе в Н	300000 Н	300	80 г
3. Электромеханический "Терра-2"	1шт	Амплитуда импульса силового воздействия в Н	15000 Н	15	4 г
4. Электромагнитный "Енисей СЭМ-100"	1шт	Расчетная сила воздействия эл. магнитов на пригрузы модели (тс)	100 тс	10	26 г
5. Пневматический источник "Пульс-6С"	1шт	Рабочее давление в МПа, объем камеры 1 дм ³ , одно накопление	14,0 МПа	21	2 г
6. Виброисточник СВ-15-180	1шт	Максимальная амплитуда силы в кН (в течение 10 с)	150 кН	750	197 г
7. Виброисточник СВ-120-250 ВИ	1шт	Пиковое усилие при квазигармоническом возбуждении в кН (в течение 10 с)	120 кН	600	157 г
		Пиковое усилие импульсного воздействия в кН	120 кН	120	31 г
8. Виброисточник Merz M25/606	1шт	Пиковая сила (в течение 10 с)	202 кН	1010	265 г
9. Виброисточник AMG P23/M27	1шт	Усилие вибратора на грунт (в течение 10 с)	250 кН	1250	328 г
10. Виброимпульсные излучатели НКН-10/40	1шт	Максимальное усиление в импульсе в кН	100 кН	100	26 г
11. Механический импульсный источник с падающим грузом СИ-64	1шт	Максимальная энергия в кДж	100 кДж	100	26 г
12. Газодинамические импульсные источники ГСК-6М	1шт	Энергия действия на грунт в кДж	90 кДж	90	23 г
13. Электродинамические импульсные источники "Сейсмодин-4800"	1шт	Максимальное рабочее усилие в кН	800 кН	800	210 г
14. Пневматический импульсный источник ГСК-1П	1шт	Энергия воздействия при номинальном рабочем давлении в кДж	12 кДж	12	3 г
15. Пневматический импульсный источник ГСК-10С	1шт	Энергия воздействия на грунт в кДж	100 кДж	100	26 г
16. Пневматический импульсный источник ГСК-5	1шт	Максимальное суммарное рабочее усилие двух камер в кН	340 кН	340	90 г

Наиболее привычным понятием в современной сейсморазведке является взрывной источник с его основными параметрами массы заряда и тротилового эквивалента.

В данной статье предпринимается попытка провести оценку различных источников возбуждения сравнительно с тротиловым зарядом, энергия 1 кг которого составляет 3800 кДж [1].

Несложные расчеты показывают, что один импульсный источник типа "Геотон" по воздействию на среду равен взрыву 80 г тротила или, оперируя привычными терминами, тротиловый эквивалент одного "Геотона" равен около 80 г ВМ. Таким образом, если в условиях конкретной площади работ получение качественной сейсмической записи обеспечивали 5 кг тротила, то записи аналогичной интенсивности с невзрывным источником потребуют 62 "Геотона" однократно или 5 "Геотонов" по 12 накапливаний для каждого.

Проведем аналогичную оценку для виброисточников. Возьмем за основу вибратор СВ-120/250 ВИ, производства НИКЦИМ "Точмаш-прибор", г. Армавир, который может работать в импульсном и квазигармоническом режимах. При импульсном воздействии пиковое значение силы достигается не менее 120 кН и совершаемая работа (энергия) на пути в 1 м, равная 120 кДж. Указанная энергия эквивалентна энергии взрыва 32 г тротила. В геофизике принято, что импульсные источники характеризуются энергией воздействия, а вибрационные - силой воздействия на грунт.

Для оценки энергии виброисточника при квазигармоническом возбуждении обратимся к физическому понятию "импульс силы", которая определяется выражением $K=F \cdot T$, т.е., произведением приложенной силы на время ее воздействия.

Пиковое усилие одного вибратора СВ-120/250 ВИ равно 120 кН, а при воздействии на грунт в течение длительности свипа $T_{\text{свип}}$ импульс силы составит $K=F \cdot T/2$ и будет соответствовать, к примеру при 10 с, - 600 кН, что позволит совершить работу, равную 600 кДж, и в переходе к тротиловому эквиваленту соответствует 160 г тротила. Можно определить, что группа из 5 вибраторов СВ 120/250 при длине свипа 10 с и 8 накапливаниях производит работу, эквивалентную взрыву 6,4 кг тротила и соответствует групповому приповерхностному источнику из 16 скважин и единичном заряде 0,4 кг в каждой скважине, что подтверждается практикой сейсмических исследований.

Для количественной оценки тротилового эквивалента пневмоисточника "Пульс-6С" воспользуемся следующими параметрами: давление в камере равно 14,0 МПа, объем камеры 1 дм³. Внутренняя запасенная энергия источника [4] составит: $U = 21$ кДж, что эквивалентно взрыву 5 г тротила, а используемая для одного возбуждения акустических колебаний энергия соответствует 1,5 - 2 г тротила.

В таблице 1 даны силовые параметры импульсных и вибрационных источников приведенные к тротиловому эквиваленту. Базовые характеристики силы и работы источников составлены по данным работ [2, 3].

Несмотря на то, что сопоставление силовых характеристик источников с тротиловым эквивалентом в целом не противоречат практике сейсмических работ, целесообразно провести относительную оценку по амплитудам отражен-

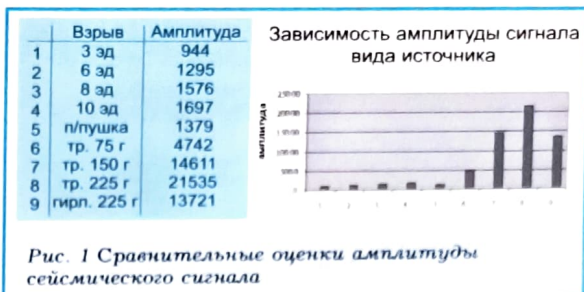


Рис. 1 Сравнительные оценки амплитуды сейсмического сигнала

ных волн на уровне целевых горизонтов и определить их соотношение.

Имеющийся в распоряжении ЗАОр "НП ЗИГ" материал позволяет провести сопоставление по следующим источникам: взрывной источник - пневмопушка; взрывной источник - виброисточник.

На рис. 1 представлены сравнительные оценки амплитуды сейсмического сигнала зарегистрированного при взрывах ВМ и пневмоисточника "Пульс-6С", диаметром 60 мм, $V = 1$ дм³, рабочим давлением 14,0 МПа. Сейсмический сигнал от пневмоисточника получен при 8 накапливаниях. Из сопоставления видно, что запись от пневмоисточника соответствует взрыву $= 7$ ЭД, т.е., 14 г тротила при 8 накапливаниях и 1,7 г при одном накапливании, что хорошо совпадает с расчетным значением тротилового эквивалента пневмопушки.

На рис. 2 представлены фрагменты сейсмического разреза ОГТ-60, полученные при взрывах заряда тротила массой 75 г и пневмопушки. Профиль отрабатывался на суше.

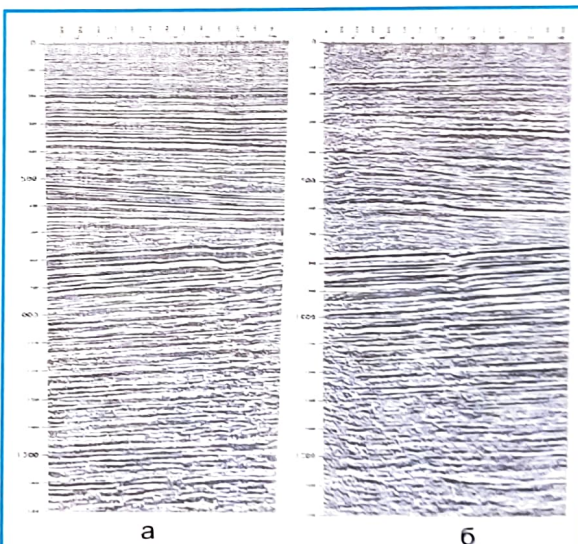


Рис. 2

а - взрывной источник $q=0,075$ кг

б - пневмоисточник "Пульс-6С", 8 накапливаний

Этот монтаж иллюстрирует возможности регистрации слабых сигналов современной аппаратурой и возможности их обработки с применением современных программ до получения сопоставимых результатов.

Для сравнительной визуальной оценки взрывных источников и виброисточников на рис. 3 А, Б представлены полевые сейсмограммы. Сравниваются сейсмозаписи от взрыва шпурового источника (А) с параметрами:

- количество шпуров в группе - 21;
- база группы - 60 м;
- величина единичного заряда - 0,2 кг;

ОБМЕН ОПЫТОМ





- весенная суммарного таряда - 4,2 кг.
- глубина заложения таряда - 2 м.
- вид таряда - аммонит 6Ж.
- и виброисточника (В) с параметрами:
- тип вибраторов - СВ 10/180.
- количество вибраторов в группе - 4 шт.
- база вибраторов - 60 м.
- количество накопителей - 10.
- длительность свип-сигнала - 13 с.

Параметры систем наблюдений и регистрации остаются одинаковыми при разных источниках возбуждения.

Волновые картины, естественно, отличаются. При взрывных источниках регистрируется динамически более выраженная запись, при которой целевые отражения имеют свою форму, отличную от иных составляющих волнового поля (отражение на $t = 1,0-1,4$). Однако, если оценивать интенсивность записей, то можно говорить о их тождественности, включая отражения от опорных и целевых горизонтов.

Приведем сравнительную оценку воздействия вибраторов. Пиковое усилие одного вибратора СВ-10/180 равно 10 тн или 100 кН. При длительности свип-сигнала 13 с, импульс силы составит $K = F \cdot T/2$ и будет соответствовать 650 кН, что позволяет совершать работу в 650 кДж, эквивалентную взрыву 170 г тротила. При воздействии 4-х вибраторов и 10 накопителей, работа виброисточников эквивалентна взрыву 6,8 кг ВВ. Сравнительная расчетная оценка энергоёмкости виброисточников, приведенная к ВВ, позволяет предполагать несколько завышенные значения параметров виброисточника. Вероятно, можно было бы использовать 6 нака-



Рис. 3 Сравнительная оценка вибро- и взрывных источников

пливаний вместо 10, или несколько уменьшить длительность генерации виброисточника.

Предлагаемый подход оценки силовых и энергетических характеристик большого набора разнородных источников сейсмических колебаний является единственным, но, по нашему мнению, он прост и доступен широкому кругу геофизиков-практиков.

Литература

1. Справочник взрывника. "Недра", 1988 - Москва.
2. Приборы и системы разведочной геофизики. № 1/2003 г. Саратов.
3. Шнеерсон М.Б. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки. "Недра", 1998 - Москва.
4. Фейнмановские лекции по физике, т. 4. "Мир", 1967 - Москва.

ГЕОФИЗИКА-2005

Санкт-Петербургское отделение Евро-Азиатского геофизического общества совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом и ФГУ НПП "Геологоразведка" при содействии МПР РФ, Минпромэнерго РФ, РАН, РАЕН, EAGE, SEG

проводит в Санкт-Петербурге 5-ю Международную научно-практическую геолого-геофизическую конференцию- конкурс молодых ученых и специалистов "ГЕОФИЗИКА-2005" 11-15 сентября 2005 г.

Приглашаем принять участие студентов, аспирантов, молодых специалистов в возрасте до 33 лет из профильных вузов России, стран ближнего и дальнего зарубежья, НИИ и предприятий МПР РФ, Минпромэнерго, РАН, коммерческих структур.

Тезисы участников конференции и полный текст докладов победителей конкурса будут опубликованы.

Для руководства секциями конференции, заседаниями круглых столов и семинаров приглашаем принять участие профессорско-преподавательский состав вузов, ведущих ученых РАН, РАЕН, специалистов крупнейших российских и зарубежных компаний.

Цели конференции:

- ♦ выявление творчески активной молодежи, способствующей развитию новых направлений геофизических (геохимических) исследований, их внедрению в практику геологоразведочного производства и работ по обеспечению экологической безопасности населения;
- ♦ формирование предложений по повышению квалификации молодых специалистов в области современных геолого-геофизических технологий, коммерциализации геофизической продукции в условиях рынка;
- ♦ оценка кадрового потенциала отрасли

Надеемся на базе "Геофизика-2005" с Вами вместе способствовать формированию контингента высококвалифицированных молодых специалистов-геофизиков по изучению физики Земли, ее недр, недропользования, экологической безопасности населения.

Будем рады видеть Вашу организацию в числе спонсоров конференции "Геофизика-2005". Размер спонсорской помощи составляет сумму от 3000 до 10000 у.е.

Программа конференции рассчитана на 5 дней и предусматривает: пленарные заседания, работу по секциям, проведение круглых столов, культурные мероприятия.

Оргкомитет
"Геофизика-2005"

129019, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Фаянсовая, 20, СПО ЕАГО
тел. (812) 567-76-11; 567-76-48
факс: (812) 567-87-41; 567-76-48
E-mail: geofizika2005@virg.ru

Оборудование для бурения скважин при сейсморазведке

Кардыш В.Г., ЗАО "Геомаш-Центр", г. Москва



ОБОРУДОВАНИЕ

Бурение взрывных скважин при сейсморазведочных работах характеризуется специфическими условиями. Оно сопряжено преимущественно с комплексом мягких и рыхлых пород при глубинах скважин, в основном, до 20-30 м и диаметрах 100-185 мм. Удаленность районов работ и слабое развитие их инфраструктуры усложняют организацию работ и их материальное обеспечение. Дополнительные сложности вызывает необходимость выполнения работ в зимнее время, вызванная трудностями транспортировки оборудования в другие времена года. Указанные обстоятельства предопределили почти полный отказ от бурения скважин с промывкой из-за сложности обеспечения и работы с водой и широкое распространение шнекового бурения, которое практически вытеснило все остальные технологии.

Уже самые первые специализированные установки для шнекового бурения сейсморазведочных скважин были разработаны Шигровским машиностроительным заводом, ныне ОАО "Геомаш". Первой среди таких установок была, созданная в начале 50-х годов, установка БС-3А. Ее появление на геолого-разведочном производстве явилось, по существу, началом внедрения шнекового бурения. В дальнейшем "Геомаш", первым среди отечественных предприятий, специализировался на создании и производстве оборудования для шнекового бурения, основываясь при этом на собственных исследованиях, разработках СКБ МИНГЕО, научных работах МГРИ и опыте эксплуатации первых типов машин.

Широкое распространение получило семейство буровых установок УГБ-ПБУ с подвижным вращателем, имеющим механический привод, и поршневой гидравлической подачей. Установка УГБ-50, положившая начало этому ряду техники, несмотря на ее технологическую универсальность, использовалась главным образом для шнекового бурения, в том числе, и сейсмических скважин. В дальнейшем повышение параметров - увеличение грузоподъемности и момента вращения в установке ПБУ-2, расширило ее технологические возможности и повысило эффективность бурения шнеками. Глубина скважин при бурении шнеками диаметром 185 мм и более может достигать свыше 30 м. При необходимости она может быть использована также для бурения с промывкой или продувкой сжатым воздухом. Универсальность установки позволяет потребителям при отсутствии объемов бурения сейсмических скважин использовать ее для других целей, избегая простоев оборудования. Благодаря автономному приводу от дизельного двигателя по требованию потребителей установка может поставляться на различных колесных транспортных базах,езде МТЛБ, трелевочном тракторе или саянах. В текущем году проведена большая работа по изучению опыта эксплуатации установок, успешно работающих как в условиях Севера, так и в Центральной Африке, и ведется доработка конструкции по выявленным замечаниям и

пожеланиям потребителей с целью повышения надежности и удобства работы.

Для бурения взрывных скважин в более сложных геолого-технических и транспортных условиях предназначена установка МП-2Т4, смонтированная на тракторе типа Т-170. Также как и ПБУ-2 установка имеет подвижный вращатель с приводом от вертикального вала и поршневой гидравлический механизм подачи. Приводная мощность, которая в зависимости от модели трактора составляет от 95 до 130 кВт, позволяет реализовать высокие значения момента вращения, превышающие 750 кгм, осевое усилие 6 т и грузоподъемность 12 т. Такие параметры обеспечивают возможность шнекового бурения в плотных и вязких породах скважин глубиной 30 м и более диаметром 185-300 мм, а при замене вращателя, и шурфов диаметром до 650 мм. Имеется положительный опыт эффективного бурения скважин в мерзлых породах не только шнеками, но и с применением забойных пневмударников. С этой целью на вращателе размещается сальник для подачи сжатого воздуха от передвижного компрессора. Вращатель установки отводится в сторону для освобождения устья скважины, что позволяет извлекать инструмент и выполнять вспомогательные операции с помощью полиспастной системы грузоподъемностью около 3 т, образуемой роликами на верхней траверсе механизма подачи и канатом, закрепленным на верхнем поясе мачты. При подъеме траверсы вверх ролики перемещают канат с коушем на его нижнем рабочем конце и тем или иным грузом. В настоящее время установка выпускается после доработки проведенной с учетом предложений, полученных от организаций, эксплуатирующих ее в условиях Республики Коми, Западной Сибири и других регионов при сейсморазведочных работах, что позволило устранить выявленные недостатки.

В последние годы "Геомаш" приступил к разработке гидроприводных буровых установок с подвижным вращателем. Легкая самоходная установка УБС-Г00-(01) "Сейсмик", смонтированная на гусеничном транспортёре ГАЗ-34037, предназначена для бурения шнеками диаметром 89, 108 и 135 мм на глубины соответственно 25-30, 20-25 и 10-15 м. Подвижный вращатель установки обеспечивает частоту вращения инструмента в пределах 0-120 об/мин при крутящем моменте до 230 кгм, что достигается посредством регулируемого маслонасоса. Вращатель перемещается со скоростью до 0,3 м/с по направляющей стойке (мачте) размещенным в ней цепным механизмом подачи с приводом от гидроцилиндра. Ход подачи составляет 1900 мм, усилие подъема 2000 кгс, осевая нагрузка на инструмент - 1200 кгс. Шпиндель вращателя при бурении соединяется с инструментом посредством специального переходника, а при подъеме и спуске - специальным элеватором, не требующим при этом точного центрирования шнека. Мачта при помощи гидроцилиндра подъема устанавливается в рабочее или укладывается в транспортное положение. Слева от мачты находится



ОБОРУДОВАНИЕ

кассета для размещения оперативного запаса шнеков при бурении и транспортировке. Кассета может переводиться в рабочее и транспортное положение тем же гидроцилиндром, что и мачта, вместе с ней или отдельно, а также устанавливаться под необходимым углом. Привод насосного агрегата для подачи рабочей жидкости в гидросистему и питания рабочих органов установки осуществляется от двигателя транспортера. Отбираемая мощность составляет 20 кВт. Для поддержания необходимой температуры масла в гидросистеме предусмотрен маслоохладитель. Пульт управления установкой расположен справа от устья скважины и при транспортировке закрывается съемным кожухом, что исключает его повреждение при движении по лесным профилям. На задней балке рамы транспортера устанавливаются два гидродомкрата. В кузове транспортера оборудованы места для перевозки буровой бригады и размещения запаса инструмента и принадлежностей.

Работоспособность и эффективность установки "Сейсмик" подтверждена эксплуатацией головной партии машин в условиях Западной Сибири при температурах менее -40°C. Установка легко передвигается по снежному покрову, быстро монтируется и демонтируется. Бурение скважин шнеками диаметром 135 мм до 10-15 м в плотных и пластичных глинах занимает 30-40 мин, шнеками диаметром 108 мм до 15 м в водонасыщенных супесях и суглинках до 20 мин. Сменная производительность составляет в зависимости от условий до 150-200 м.

Для бурения скважин различного назначения, в том числе и взрывных для сейсморазведки, разработан легкий разборный на транспортно-башенные узлы гидроприводной станок ББУ-000 "Опенк". Он обеспечивает бурение шнеками диаметром 100-230 мм на глубину 25-10 м. Скорость бурения шнеками диаметром 135-230 мм составляет до 10-12 м/час. В твердых породах возможно бурение забойными пневмодударниками скважин диаметром 110-120 мм до 20-25 м.

С целью снижения массы в конструкции станка широко использован алюминиевый сплав. Основными рабочими органами станка, входящими в буровой блок, являются подвижный вращатель с приводом от регулируемого гидродвигателя и механизм подачи, представляющий собой гидроцилиндр с цепным

подцепом, обеспечивающим изменение хода и скорости подачи. Механизм подачи осуществляет стойки, состоящей из двух алюминиевых швеллеров связанных между собой поперечными элементами. Стойка с вращателем шарнирно смонтирована на основании, изготовленном также из алюминиевого проката, и установлена под углом до 45° для бурения наклонных скважин. Стойка в нижней части крепится к основанию и, кроме того, снабжена телескопическими подкосами, связывающими ее с рамой. Для более надежного крепления к грунту на боковых гранях стойки предусмотрены выдвижные забивные анкеры, которые, с размещенной на них перемычкой-ребенкой, повышающую устойчивость жесткую систему, повышающую устойчивость под действием момента вращения.

На раму бурового блока монтируются остальные узлы станка, имеющие собственные каркасы: блок привода с бензиновым двигателем мощностью 17,6 кВт и масляными насосами, энергетический блок (аккумулятор и бензобак), маслобак, пульт управления с маслоохладителем. Узлы могут быть сняты с основания и размещены в любом удобном месте на расстоянии, определяемом длиной рукавов, которые снабжены быстроразъемными соединениями. Указанные особенности позволяют перевозить станок любым транспортом, вплоть до гужевого и ручной переноски, так как масса узлов не превышает 65 кг, а также монтировать его на различных вездеходах. На небольшие расстояния до 15 м станок может в собранном состоянии перетаскивать себя сам посредством барабана, закрепляемого к шпинделю вращателя. Возможен монтаж станка в собранном виде в легком передвижном буровом здании для транспортирования трактором или вездеходом, либо непосредственно на транспортных средствах. В частности, возможен монтаж на плавсредствах для работы в зонах непроходимых для другого транспорта.

Таким образом, оборудование, предлагаемое ЗАО "Геомаш-Центр" в основном охватывает условия бурения сейсморазведочных скважин как наиболее распространенным шнековым способом, так и с применением других технологий, что выгодно отличает его от узкоспециализированной техники других производителей.

Вниманию авторов

Материалы, представляемые для опубликования в журнале должны отвечать следующим требованиям.

Статья представляется в электронной версии на компакт-дисках емкостью 640-700 Мб. Форматы текстового файла должны быть в виде Microsoft Word for Windows (версии 6.0 или выше). Графические приложения и таблицы, выполненные электронным образом, представляются в отдельных файлах формата MS Excel (версии 4.0 или выше) или в формате CorelDRAW версии 7.0 и выше. Все контуры и графики на рисунках, а также все цифры и надписи должны быть выполнены четко, чтобы при уменьшении они легко читались. Рисунки присылаются в виде растровых файлов форматов: *TIF, с разрешением не менее 250 точек на дюйм (допускается LZW-сжатие), *JPG с качеством не менее 12-ти. Максимально допустимый размер иллюстраций - А4. Подписанные подписи представляются в виде отдельного списка. Математические уравнения должны быть выделены четким и ясным шрифтом. Все математические символы скалярных величин набираются курсивом, а векторные - жирной прямой заглавной буквой. Вместе со статьей в редакцию направляются краткие сведения об авторах, необходимо указать Ф.И.О., город, место работы, и должность.

Отредколлегии:

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редакция может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов.



Вы получите информацию о полном волновом поле при использовании системы VectorSeis System Four.®

Регистрирующие системы VectorSeis обеспечивают высочайшую точность сейсмических исследований, улучшают качество данных на продольных волнах и при многоволновой сейсморазведке, поднимают на максимально возможный уровень достоверность получаемых результатов.

Цифровая регистрация полного волнового поля позволила по-новому взглянуть на процесс разведки и добычи полезных ископаемых. Точная локализация и описание объектов бурения, оптимизация процесса добычи и повышения эффективности разработки месторождений.

Новые технологии, предлагаемые I/O, представляют возможность исследований месторождений самого сложного строения.



Giving seismic a whole new image



VectorSeis®

INPUT/OUTPUT
(812) 449-01-54, spb

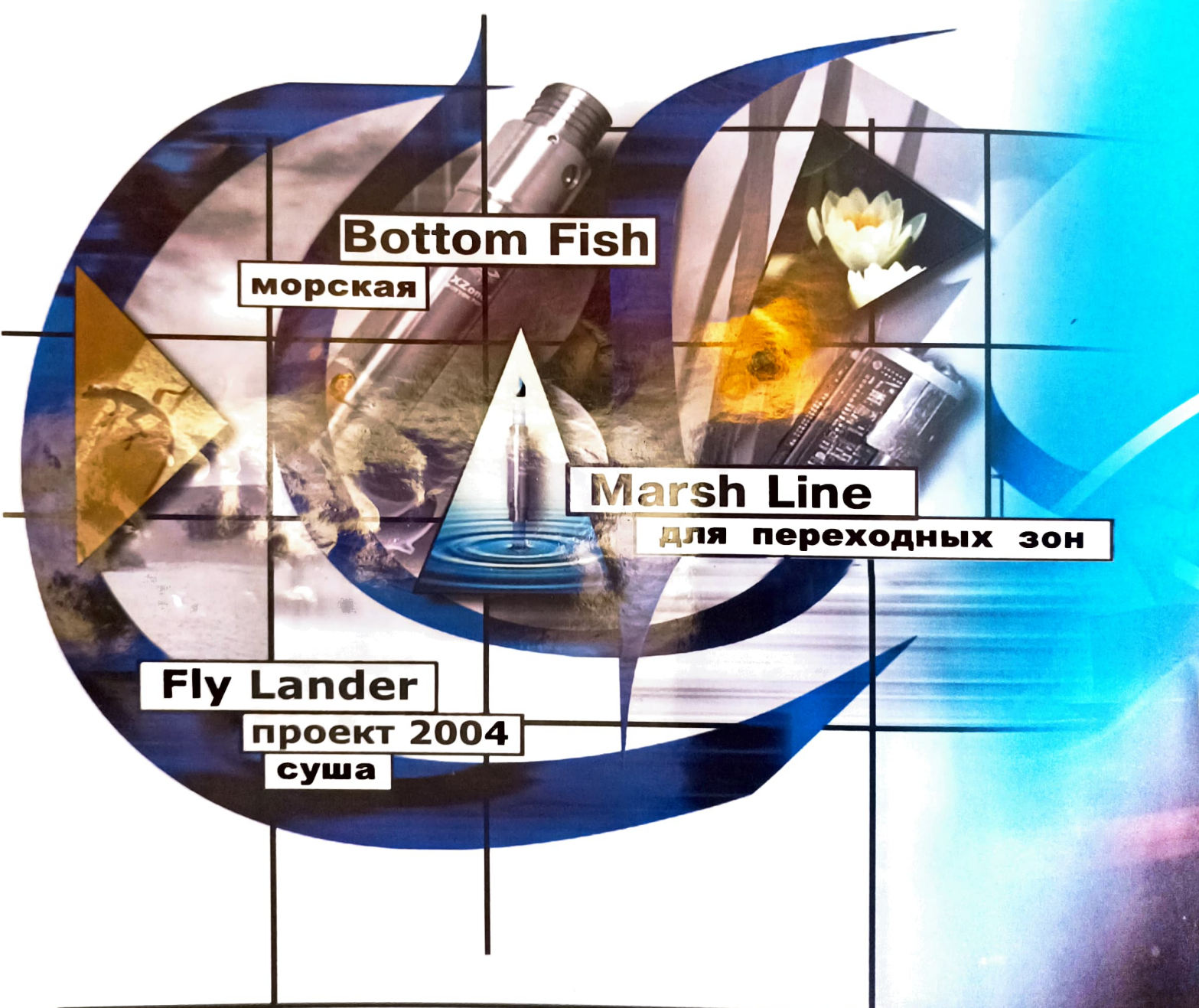
12300 Parc Crest Drive

Stafford, Texas 77477 USA

+1 281 933 3339

www.io.com Санкт-Петербург (GPS)

XZone®



Bottom Fish

морская

Marsh Line

для переходных зон

Fly Lander

проект 2004

суша

СИ Технолоджи, 353461, Россия, Краснодарский край,
г. Геленджик, ул. Красногвардейская, д. 38,
т.: (86141) 5-44-33, 2-36-85, факс: (86141) 5-23-18
www.intromarin.ru, si@intromarin.ru