

Появление "повторного удара" на сейсмограмме телеметрической станции GDAPS-4

Сантаев А.А., Шишигин Ф. А., ОАО «Якутскгеофизика», г. Якутск

Введение.

На сегодняшний день Республика Саха (Якутия) занимает одно из ведущих мест в Сибири и на Дальнем Востоке по запасам углеводородного сырья. Нефтегазовый комплекс РС (Я) находится на этапе коренной перестройки, практически на начальной стадии развития. Построенный нефтепровод «Восточная Сибирь — Тихий океан» служит стимулом к открытию новых месторождений вдоль трассы нефтепровода. Интерес нефтяных и газовых компаний к запасам углеводородов на территории республики очевиден.

ОАО «Якутскгеофизика» - предприятие с более чем полувековой историей поисков и находок месторождений нефти и газа на территории республики геофизическими методами исследований. Всего за 60-летнюю историю работ было подготовлено к бурению 185 нефтегазоперспективных объектов общей площадью свыше 34 тысяч кв. км. Кроме того, фонд выявленных структур насчитывает 54 объекта общей площадью 11 347 кв. км. Открыто 30 месторождений углеводородов, крупнейшие из них: Чаяндинское Верхневилучанское, Средневилуйское, Среднетюнское, Среднеботуобинское, Тас-Юряхское, Соболах-Неджелинское и Талаканское.

До начала 2000-х годов Якутскгеофизика являлось единственным предприятием, выполняющим сейсморазведочные работы на территории РС(Я). За долгую историю работы был накоплен уникальный опыт в производстве сейсморазведочных работ в сложных климатических условиях и условиях низких температур. В области обработки и интерпретации также приобретен огромный опыт касательно площадей, расположенных на территории республики.

Вот уже двадцать лет ОАО «Якутскгеофизика» не применяет взрывную методику сейсморазведки. Этот опыт доказал высокую эффектив-

ность невзрывных технологий. В условиях вечной мерзлоты, отсутствия низкоскоростных верхних частей разреза импульсная и вибрационная методики успешно решают задачи сейсморазведки, обеспечивая результаты такого же качества и разрешающей способности, как и сейсморазведка взрывной методикой. С применением такой технологии (вибросейсмический метод) были выявлены и разведаны получившие широкую известность: Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение, Талаканское и Алинское месторождения, а также открыты и разведаны многие другие месторождения.

На путь использования вибросейсмического метода предприятие встало в 1977 года после приобретения двух импортных комплексов BSK Y-1100-CF в комплекте с сейсморегистрирующей аппаратурой MDS-10. За прошедшее время многое менялось. Приобретались новые станции и вибросейсмические комплексы, соответствующие запросам своего времени.

С 2004 года ОАО «Якутскгеофизика» пополняет свой парк излучателей упругих колебаний импульсными источниками «Енисей КЭМ-2», разработанными ОАО «Енисейгеофизика», а затем более мощными «Енисей КЭМ-4». Данные источники являются мобильными и наиболее оптимальными с экономической и технологической точек зрения.

Использование импульсных и вибрационных источников значительно снижает стоимость полевых работ. При проведении работ данными источниками увеличивается безопасность сейсморазведочных работ, минимизируется вред, наносимый окружающей среде, а также появляется возможность проводить сейсмические исследования там, где запрещено использование взрывной технологии.

В настоящее время использование при выполнении сейсморазведочных исследований совершенного оборудования, а также появление супервайзерских служб контроля обеспечивают высокое качество получаемого материала. Однако не стоит заблуждаться и слепо доверять инструментам и программам. Нет ничего более совершенного, чем человек. Именно этому случаю и посвящена наша статья.

В настоящее время при проведении сейсморазведочных работ, как правило, используют телеметрические станции. Преимущества применения телеметрии очевидны. В первую очередь, это минимизация различного рода наводок на сейсмические каналы. Повышенная помехозащищенность позволяет питать сейсмостанцию непосредственно от генератора переменного напряжения 220 вольт частотой 50 Гц. Однако не стоит забывать, что при использовании метода «вибросейс» служебный канал свипа находится непосредственно в сейсмостанции. При определенных условиях это может приводить к появлению на сейсмограмме довольно специфической помехи, имеющей форму повторных первых вступлений – «повторного удара» (рис. 1).

Применяемая аппаратура:

- Сейсмостанция - GDAPS-4 (JGI, Япония)
- Вибраторы - CB20-150
- Блоки управления вибратором - Виконт-002 СвипМастер (ЗАО «Геосвип»)



Рис. 1. Сейсмограмма с «повторным ударом».

КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО, КАЧЕСТВО
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

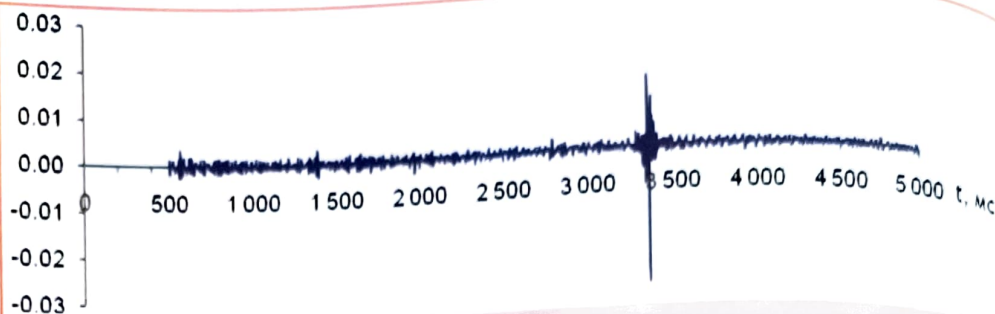


Рис. 2. Нормированная функция автокорреляции свип-сигнала.

- Свип-генератор PG-002 (ЗАО "Геосвип").
- Параметры возбуждения:
- Свип: линейный, 14-114 Гц.
- Длительность свипа - 7 секунд.
- Длительность сейсмограммы - 5 секунд.

Рассматривались различные возможные причины возникновения помехи - от неисправностей вибраторов и цифровых систем управления, до весьма экзотических «морозобойных трещин» [1] и нелинейных искажений, образующихся в процессе передачи нагрузок грунту [4].

Ранее также считалось, что «повторный удар» может происходить из-за подъема плит вибраторов после последнего накопления. Для исключения предполагаемого эффекта блоки управления вибраторами были переключены из автоматического в ручной режим работы (плита поднималась по команде оператора сейсмостанции не ранее чем через 5 секунд после окончания свипа). «Повторный удар» на сейсмограмме по-прежнему присутствовал. Для исключения влияния вибраторов было решено подать эталонный сигнал свипа через делитель прямо на сеймоканал. Вибраторы при этом вообще не работали. На сейсмограмме соответствующего канала при этом отчетливо была видна импульсная помеха на времени 3,4 секунды. На рис. 2 приведён график нормированной функции автокорреляции свип-сигнала. Для удобства визуализации график приведён начиная со времени 500 мс.

Таким образом, было достоверно установлено, что источником данной помехи являются не вибраторы, а либо генератор свипа, либо служебный канал сейсмостанции.

Довольно тщательно был проверен свип-генератор PG-002. Выяснилось, что сигнал свипа поступает на служебный канал сейсмостанции прямо с микросхемы ЦАП и имеет значительный уровень гармоник кратных 2кГц вплоть до частот 20 кГц. Для проверки опасности влияния этих гармоник сигнал подавался на вспомогательный канал сейсмостанции через простейший RC-фильтр. Амплитуда «повторного удара» снизилась, но осталась еще весьма заметной. К тому же фильтр добавлял к сигналу свипа дополнительную фазовую задержку. После отработки нескольких экспериментальных наблюдений фильтр был демонтирован. Не дали положительных результатов и попытки избавиться от помехи дополнительным экранированием соединительного кабеля между генератором свипа и вспомогательным каналом сейсмостанции.

Были опробованы различные параметры свип-сигнала. При увеличении длительности свипа «повторный удар» перемещался в более поздние времена и при

свипе длительностью 10 секунд выходил за пределы 5-ти секундной сейсмограммы. Дополнительно выяснилось, что время появления помехи зависит не только от длительности свипа, но и от его начальной и конечной частоты (т.е. от скорости изменения частоты свипа).

Для выяснения причины возникновения помехи средствами VBA Microsoft Excel была написана простая программа, моделирующая «повторный удар». Было сделано предположение, что свип-сигнал может быть амплитудно-модулирован с некой частотой $F_{ам}$.

Известно, что при применении линейного свип-сигнала, его частота $f(t)$ изменяется по закону:

$$f(t) = f_n + \frac{\Delta f}{T} \cdot t \quad (1)$$

$\Delta f = f_k - f_n$ - частотный диапазон,

f_n, f_k - начальная и конечная частоты свип-сигнала,

T - длительность свип-сигнала,

$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta f}{T}$ - скорость изменения частоты свип-сигнала (скорость развёртки).

При амплитудной модуляции свип-сигнала $f(t)$ неким сигналом с частотой $F_{ам}$ неизбежно возникают сигналы с суммарной $f(t) + F_{ам}$ и разностной $f(t) - F_{ам}$ частотой.

Амплитуда этих сигналов зависит от коэффициента модуляции. Если $\frac{df}{dt} > 0$, то наибольшую

опасность представляет разностная частота. На некотором времени τ начнёт выполняться равенство:

$$f(\tau) - F_{ам} = f_n \quad (2)$$

$$\text{или } f_n + \frac{\Delta f}{T} \cdot \tau - F_{ам} = f_n \quad (3)$$

Из уравнения (3) легко найти выражение для τ :

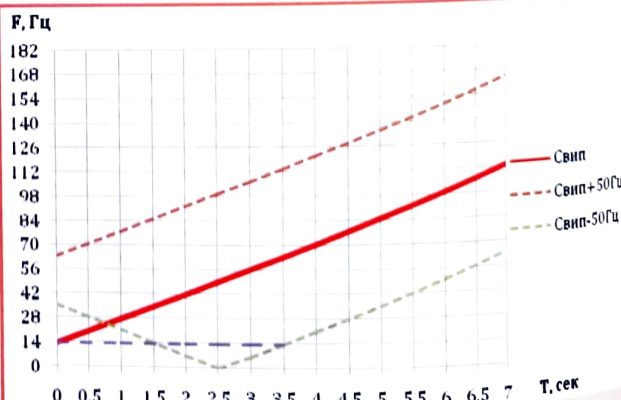


Рис. 3. Частотный состав свип-сигнала

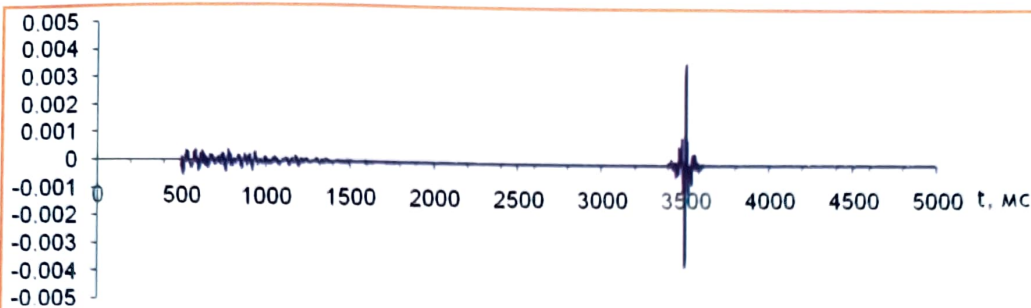


Рис. 4. Нормированная функция автокорреляции искусственного свип-сигнала с амплитудной модуляцией 50 Гц ($K_m = 1\%$)

$$\tau = \frac{F_{am}}{\Delta f} \cdot T, \text{ или } \tau = \frac{F_{am}}{df/dt} \quad (4)$$

Таким образом, начиная с момента времени τ , разностный сигнал с частотой $f(t) - F_{am}$ (при $\tau \leq t \leq T$) будет в точности соответствовать исходному сигналу $f(t)$ (при $0 \leq t \leq T - \tau$). На функции автокорреляции амплитудно-модулированного сигнала на времени τ возникнет характерный импульс с амплитудой, зависящей от коэффициента модуляции.

Аналогичные помехи могут возникать и при амплитудной модуляции сигнала, излучаемого вибратором. Из формулы (4) можно оценить при каких параметрах свип-сигнала помехи, возникающие из-за амплитудной модуляции, не будут видны на сейсмограмме:

$$\tau = \frac{F_{am}}{\Delta f} \cdot T \geq Ts, \quad (5)$$

где Ts - длительность сейсмограммы.

На рис. 3 проиллюстрирован механизм образования «повторного удара» из-за амплитудной модуляции свип-сигнала 14-114 Гц помехой 50 Гц.

Очевидно, что наибольшую опасность представляет разностная частота $f(t) - 50$. На времени $\tau = 3,5$ секунд эта частота принимает значение начальной частоты свип-сигнала, равной 14 Гц и линейно растёт до значения 62 Гц. На функции автокорреляции на времени $\tau = 3,5$ секунд возникнет импульсная помеха с амплитудой, зависящей от величины коэффициента модуляции. Что же получится после взаимной корреляции такого свип-сигнала с реальными сейсмотрассами? Начиная со времени 3,5 секунд, на сейсмограмму будет наложена еще одна, точно такая же сейсмограмма, но значительно меньшая по амплитуде и отфильтрованная с частотой среза 62 Гц. Если коэффициент амплитудной модуляции составлял 1%, коэффициент ослабления составит величину примерно - 40 дБ.

На рис. 4 приведён график нормированной функции автокорреляции свип-сигнала (14-114 Гц, 7 секунд) амплитудно-модулированного частотой 50 Гц. Коэффициент модуляции равнялся 1% от амплитуды свип-сигнала.

При сравнении результатов эксперимента видно, что расчётное время прихода помехи составляет 3500 мс, а на реальной сейсмограмме это время равно 3400 мс. Дело в том, что номинальная частота генератора, питающего сейсмостанцию, во время записи составляла 48,5 Гц, что подтверждает справедливость формулы (4).

Окончательно выяснилось, что служебный канал сейсмостанции GDAPS-4 чрезвычайно подвержен наводкам сетевого напряжения. Однако в станции имеется возможность записывать свип-сигнал на жёсткий диск, используя сейсмочанал, и в дальнейшем проводить корреляцию с этими данными. После проведения этой процедуры «повторный удар» окончательно исчез.

Выводы

Помеха, имеющая форму повторных первых вступлений, выявленная на телеметрической сейсмостанции GDAPS-4, была обусловлена амплитудной модуляцией служебного канала помехой 50 Гц. Появление «повторного удара» возможно только при определённом выборе параметров свип-сигнала и параметров записи. Наиболее опасна низкочастотная амплитудная модуляция. Для проверки наличия амплитудной модуляции рекомендуется проводить автокорреляцию свип-сигнала.

Заключение

В статье рассмотрено, к каким последствиям может приводить паразитная амплитудная модуляция эталонного свип-сигнала. Однако, аналогичные помехи могут возникать и при амплитудной модуляции сигнала, излучаемого вибратором! Причём частота модуляции может составлять величину гораздо меньшую, чем начальная частота свипа, и при этом абсолютно не подавляться системой «сейсмоприёмник - фильтр предварительного усилителя сейсмостанции».

Именно паразитной амплитудной модуляцией сигнала вибратора можно объяснить качественное отличие материала при развёртках «снизу-вверх» и «сверху-вниз» [4]. Возможно, что проблемы практического и массового применения методов «комби-свип» [5] и «синхрокомби» [6] связаны с недооценкой влияния существенной амплитудной модуляции сигналов современных вибраторов.

Литература

1. Р.Шериф, Л.Гелдарт. Сейсморазведка. Том 2. Обработка и интерпретация данных. М.: Мир, 1987.
2. Канасевич Э. Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. М.: Недра, 1985.
3. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. - М.: Недра, 1980.
4. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П. Статья в журнале "Приборы и системы разведочной геофизики", №02 (20), 2007, с. 10-13.
5. Вялков В.В., Погребинский М.С., Жуков А.П. Методические особенности применения вибросейсмического метода разведки при решении задач ПГР. "Геология нефти и газа" №09, 1989.
6. Колесов С.В. Исследование и разработка способов повышения разрешающей способности вибрационной сейсморазведки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.
7. А.С. Алевшин, В.В. Кузнецов, В.В. Циммерман, В.С. Гинсбург Параметрическое излучение сейсмических сигналов. Статья в сборнике «Проблемы нелинейной сейсмоки». ИФЗ АН СССР. М.: Наука. 1987. с. 263-267.