

Параметрический анализ характеристик датчика и их влияния на формирование сейсмического изображения

Д. Ю., Colibrys, Inc., США, Дж. Крисс, Input/Output Inc., США, К.А.М. Фейбер, Input/Output Sensor Nederland b.v., Нидерланды



Аннотация

В данной статье мы анализируем влияние разброса характеристик сейсмоприемника на качество изображения. Этот разброс характеристик может иметь место из-за производственного допуска, изменения температуры окружающей среды и т.д.

Анализ состоит из двух частей:

I) классическая замкнутая форма исследования, с использованием максимальных возможностей деконволюции обратной передаточной функции;

II) цифровой синтез сигналов путем свертки с передаточной функцией датчика и определения разности между входом и выходом.

Особое внимание уделено диапазону значений затухания и возможной необходимости более тщательного контроля за соблюдением спецификаций. Обе части, I и II, демонстрируют значительное влияние разброса параметров датчиков на достоверность сигнала -- в диапазоне от -10% до +30% в зависимости от частоты.

Введение

Датчики сигналов обычно преобразуют один вид энергии в другой. При акустических сейсмических исследованиях механические колебания преобразуются сейсмоприемниками в электрическую энергию и затем записываются. Желательно, чтобы этот процесс преобразования был линейным и, таким образом, свободным от искажений. Это создаст идеальные условия для датчика, описываемые как:

$$Y(t) = A_0 \cdot X(t - \tau_0) \quad (1)$$

Для любого заданного сигнала датчик должен зарегистрировать и преобразовать его во временной области. Другими словами, датчик должен зарегистрировать динамику сигнала с известным, неизменяемым по времени усилением A_0 и временной задержкой τ_0 . Таким образом, входной сигнал $X(t)$ можно рассчитать, используя зарегистрированный отклик $Y(t)$. Данное положение справедливо независимо от того, какой параметр колебаний измеряется: ускорение, скорость или смещение. Для преобразования этого положения в частотную область:

$$|H(\omega)| = A_0 \quad \omega \leq |\omega_c| \quad (2)$$

$$\phi(\omega) = \omega \cdot \tau_0 \quad \omega \leq |\omega_c| \quad (3)$$

Амплитуда передаточной функции H должна быть постоянной в интересующем нас диапазоне (для $\omega < \omega_c$), а фаза должна изменяться линейно вместе с частотой сигнала ω . Для определения различий между двумя группами здесь используются два набора типовых характеристик, как показано в таблице 1, и идеальные условия уравнений 1–3.

В части 2 в общей оценке учитывается температурная зависимость величины затухания.

Таблица 1. Расчетный параметр и диапазон отклонений

Тип датчика	Fн/отклонение	D/отклонение
I	10 Гц $\pm 2,5\%$	0,70 $\pm 5\%$
II	10 Гц $\pm 2,5\%$	0,68 $\pm 5\%$

Результат и обсуждение — часть I

Передаточная функция сейсмоприемника может быть записана следующим образом:

$$TF(\omega, \zeta) := \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2j\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)} \quad (4)$$

В обработке сейсмических данных для выполнения деконволюции общепринято использовать номинальную передаточную функцию датчика. Если мы допустим, что действительная величина затухания изменяется на $dvar\%$ (изменение затухания в %), то это эквивалентно

$$\frac{\frac{s^2}{\omega_n^2}}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta \cdot s}{\omega_n} + 1} \quad \text{и дает} \quad \frac{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta \cdot (1 + dvar) \cdot s}{\omega_n} + 1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta \cdot s}{\omega_n} + 1} \quad (5)$$

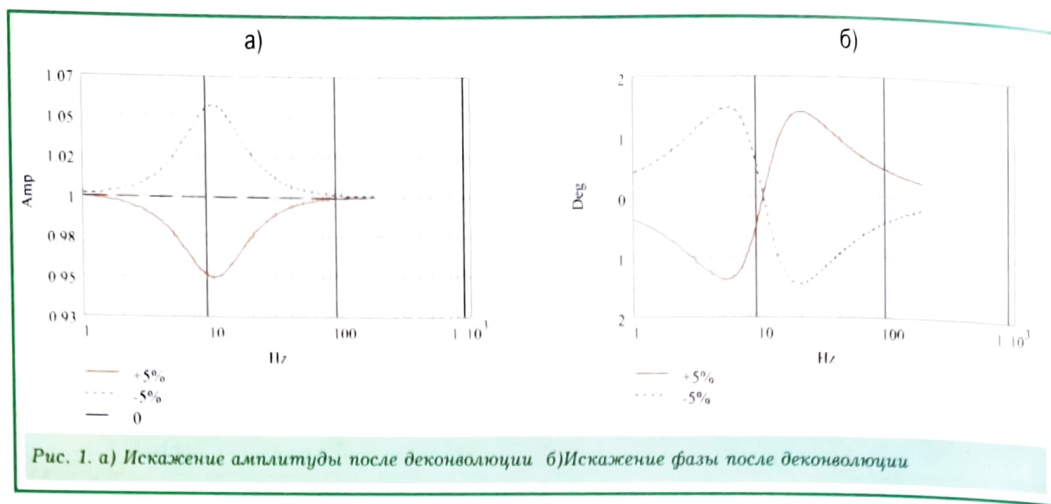
В графическом виде уравнение 5 (при $dvar = \pm 5\%$) даст диаграммы 1а и 1б. После деконволюции 5-процентное изменение значения затухания вызовет максимум 5-процентное искажение амплитуды и смещение в 1,5е по фазе. Другими словами, деконволюцию записанного сигнала можно выполнить правильно, если только записанный сигнал известен, что не всегда возможно при отклонении характеристик сейсмоприемника от своих номинальных значений.

Удвоение диапазона изменения значения затухания удвоит диапазон отгибающей искажения, находящейся в пропорциональной зависимости. С этой точки зрения, необходимо свести к минимуму допуски сейсмоприемников. Значение искажения фазы, показанного на диаграмме 2, может быть далее объяснено концепцией групповой задержки. Групповая задержка определяется как:

$$Gdelay(\omega, dvar) = -\frac{d}{d\omega} \arg(TF(\omega, dvar))$$

Групповая задержка выражается в единицах времени и на диаграмме 2а выражена в секундах. 5-процентное изменение величины затухания вызовет групповую задержку не более 1 мс даже после деконволюции. Значимость групповой задержки зависит от периода синусоидального

МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

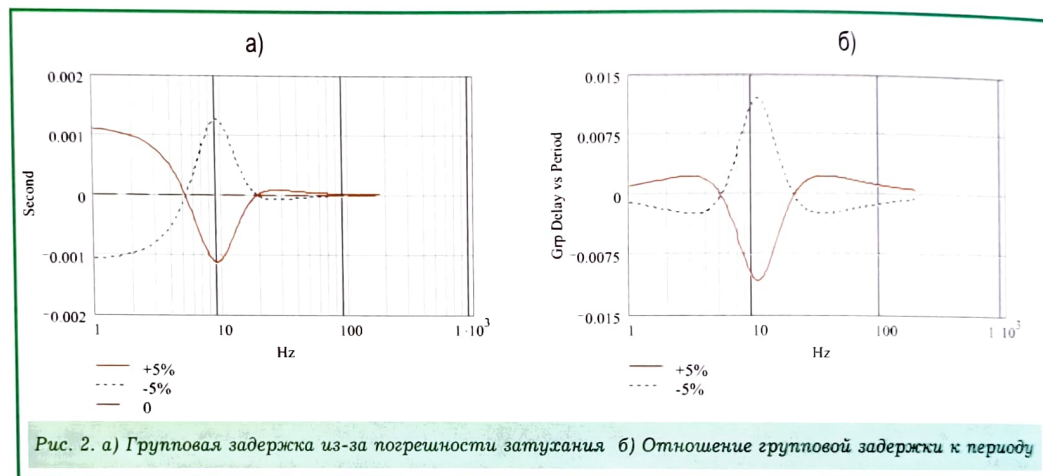


сигнала. Если период большой, то несколько миллисекунд задержки могут быть несущественными. Диаграмма 4 получена при делении групповой задержки на соответствующий период.

Она показывает, что групповая задержка наибольшее влияние оказывает на сигнал с

минимизирована деконволюцией. Следует подчеркнуть, что эту погрешность групповой задержки очень трудно исправить из-за непредсказуемости частот сигнала.

Итак, в части I нашего исследования мы использовали уравнение 1 с целью оценки и



частотой 10 Гц и вызывает 1-процентный временной сдвиг длины периода.

В общем случае сейсмические сигналы можно разложить на множество одночастотных синусоидальных и косинусоидальных сигналов с помощью БПФ. Значение диаграммы 26 для сейсмических данных можно оценить, используя простое тригонометрическое соотношение:

$$\sin a - \sin b = 2\cos(a + b)/2 \sin(a - b)/2$$

Если задержка частот сигнала, обозначенная как $d(\omega)$, будет нелинейной, то возникнет ошибка:

$$\sin(\omega(t + d(\omega))) - \sin(\omega t) = 2\cos\left(\omega t + \frac{\omega d(\omega)}{2}\right) \sin\left(\frac{1}{2}\omega d(\omega)\right)$$

$$2\cos\left(\omega t + \frac{\omega d(\omega)}{2}\right) \sin\left(\frac{1}{2}\omega d(\omega)\right)$$

Это соотношение показывает, что погрешность сигнала модулируется задержкой, деленной на период сигнала, что дополнительно объясняет диаграмму 26. 5-процентное изменение величины затухания может вызвать ошибку в 6.8% на сейсмической трассе из-за модуляции групповой задержки. Это можно легко проверить построением графика разности двух трасс. Необходимо иметь в виду, что групповая задержка уже

уравнения 2 и 3 для анализа, продемонстрировав амплитудные и фазовые различия в частотной области.

Цифровой синтез — часть II

В части II нашего анализа мы учитываем влияние температурного коэффициента на искажение передаточной функции и используем метод цифрового синтеза. Существуют три температурных коэффициента, влияющих на параметры сейсмоприемника: температурный коэффициент резонансной частоты, температурный коэффициент масштабного множителя (или чувствительности) и температурный коэффициент затухания. Последний имеет наибольшее влияние на искажение передаточной функции, и поэтому наше моделирование будет ограничено этим параметром. Для датчиков типов I и II типичные температурные коэффициенты затухания приведены в таблице 2. Значения приблизитель-

Таблица 2. Типичные температурные коэффициенты затухания

Тип датчика	Затухание T_c [AD/°C]
I	-0.0014
II	-0.0029



МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

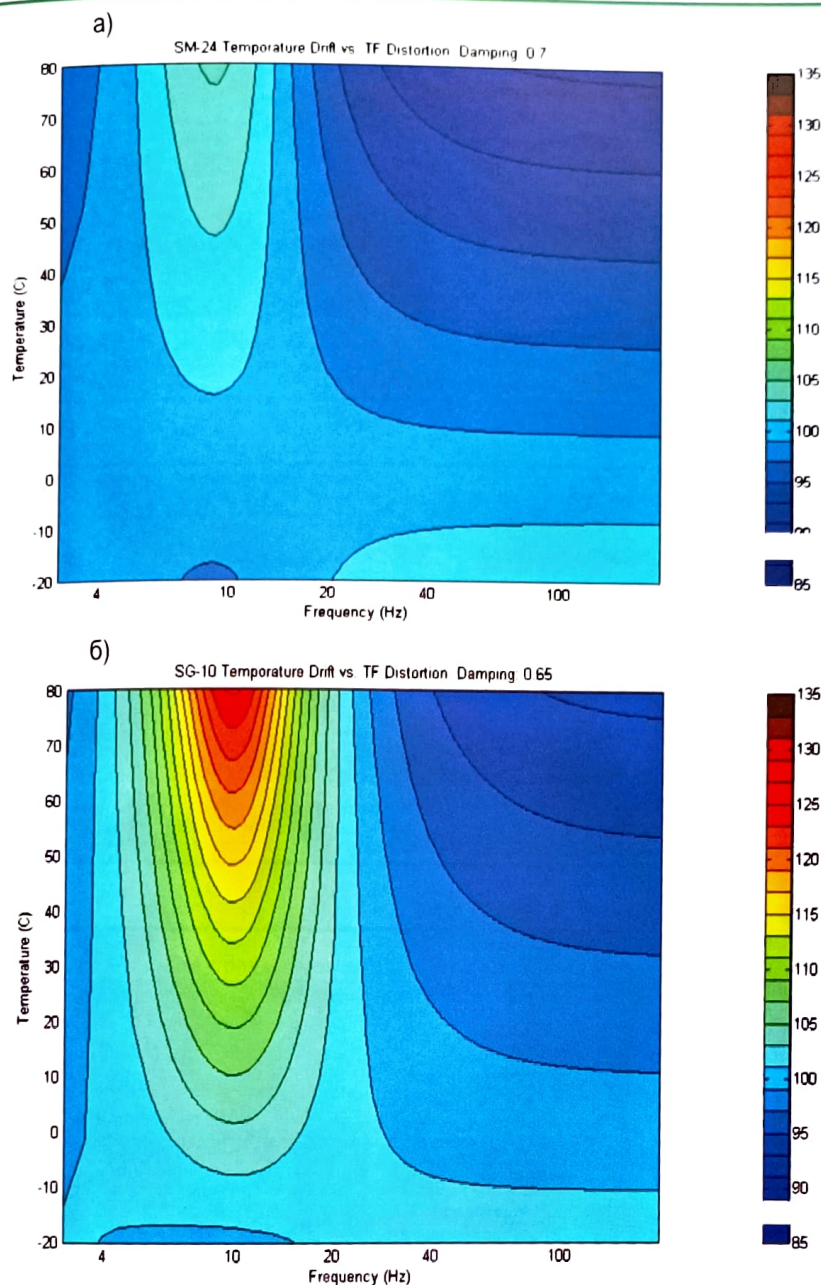


Рис. 3. а) Температурная чувствительность датчиков типа I при минимальном определенном затухании (0,70)
б) Диаграмма 5 б. Температурная чувствительность датчиков типа II при минимальном определенном затухании (0,65)

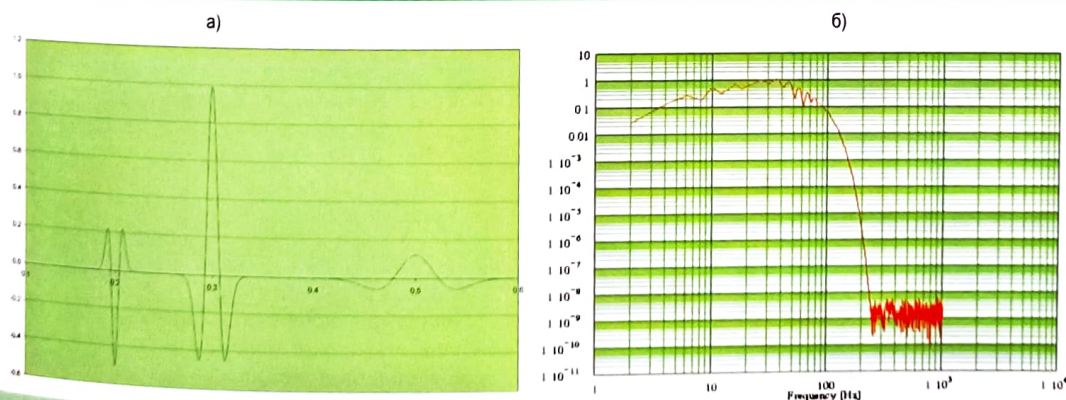
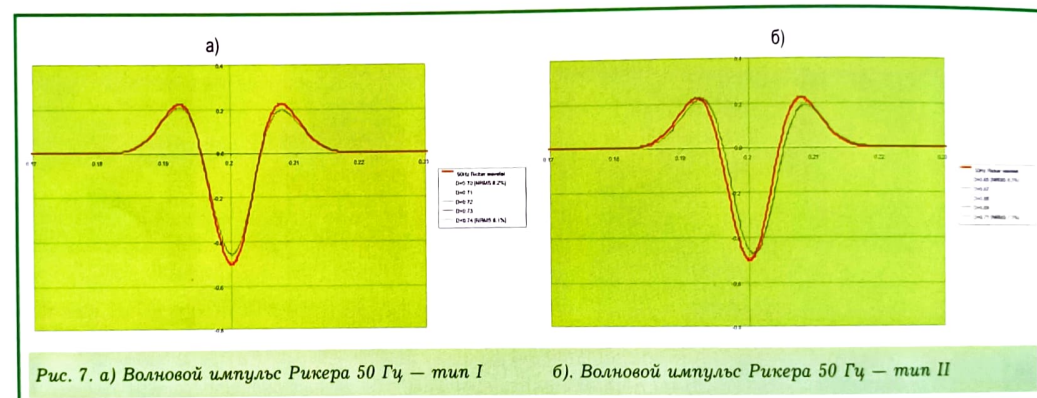
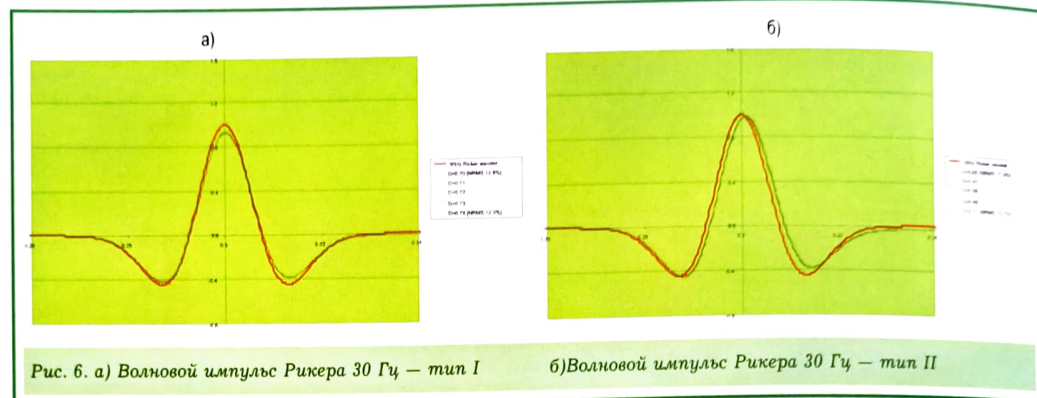
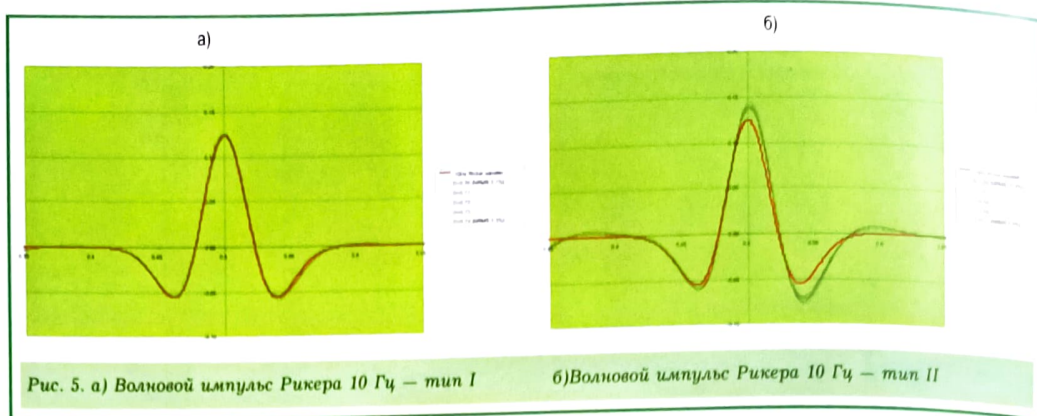
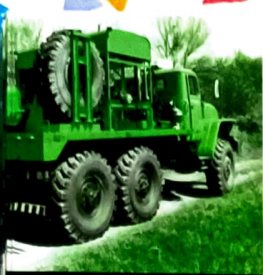


Рис. 4. а) Временные серии волновых импульсов Рикера 50/30/10 Гц б) БПФ комбинированных импульсов Рикера



но линейны и определены при 20 °С

Для иллюстрации разницы между двумя группами датчиков используется температурный диапазон (θ) от 0 °С до 100 °С. График передаточной функции, как и ранее, представлен после деконволюции. В идеале значение должно быть 100% в качестве эталона по всему спектру и во всем температурном диапазоне.

Если сравнить два изображения в изолиниях (диаграммы 3а и 3б, станет очевидным, что датчик типа II имеет большие амплитудные искажения. Каким образом они повлияют на практический результат в отношении качества изображения? Чтобы продемонстрировать разницу, используется серия импульсов Рикера. В соответствии с теоремой свертки, умножение дискретного преобразования Фурье импульсов Рикера на передаточную функцию датчика (TF) позволит получить отклик на входное

воздействие. Как следует из уравнений 2 и 3, достоверность сигнала определяется не только амплитудой, но и точностью фазы (или синхронизации), где изменения затухания играют значительную роль.

На диаграмме 4а показана временная серия из трех импульсов Рикера, представляющих упрощенную сейсмограмму, а на диаграмме 4б показано БПФ этих комбинированных импульсов. Накладывая искажение передаточной функции, вызванное повышением температуры до 80 °С, на эти импульсы Рикера и вновь сравнивая их с входным сигналом, мы получаем оценку возникших погрешностей.

Величина искажения для датчика типа II больше и пиковая продолжительность расширяется в большем диапазоне (здесь не показано). Если рассматривать основной пик, например, при временном показателе около 0,3 секунды (т.е. увеличенный 30-Герцовый импульс Рикера на

диаграммах 5а и 5б, то датчик группы I плавно затухает приблизительно на $-8,3\%$ во всем указанном диапазоне затухания, но, что более важно, нет временного смещения, поскольку все пики наблюдаются на времени 0,3 секунды. Что касается датчика типа II, то пик разницы смещен вправо на 0,307 секунды, и, что еще хуже, величина смещения непостоянна и зависит от изменения затухания в каждом датчике. Другими словами, величина искажения также зависит от величины затухания. При стабильной работе датчика это значительно легче исправить.

Поскольку и окно допуска затухания, и температурный коэффициент затухания влияют на амплитуду и фазу импульсов Рикера, при количественном определении повторяемости можно использовать нормированную среднеквадратическую оценку - NRMS (Kragh and Christie, 2002). Мы будем использовать ее как меру для оценки «искажения импульса».

При расчете нормированной среднеквадратической оценки (NRMS) для комбинированных импульсов Рикера (10 Гц, 30 Гц и 50 Гц) получаем $9,5\%$ для датчиков типа I по сравнению с $13,5\%$ для датчиков типа II.

Для 10-Герцового импульса Рикера различия усиливаются: $3,1\%$ для датчиков типа I по сравнению с $10,4\%$ для датчиков типа II.

Повторяемость 50-Герцовых импульсов Рикера для обеих групп датчиков весьма схожа: $8,2\%$ по сравнению с $8,3\%$.

Заключение

Достоверность данных — цель, преследуемая во всех областях. Качество работы датчиков имеет огромное значение в условиях, когда для сейсморазведочной отрасли важна каждая крупная информация. В настоящей статье было показано значение последовательной математической базы для сопоставления работы датчиков. Сформулировав задачу и обозначив идеальную цель, мы нашли подход, чтобы продемонстрировать искажения, вызываемые разбросом пара-

метров датчиков, который может наблюдаться по ряду причин. В части II, с использованием импульсов Рикера был показан сложный характер работы датчика для более реальных случаев. Температурные коэффициенты различных групп датчиков не всегда одинаковы. В частности, было показано, что параметр затухания настолько чувствителен к температурным изменениям, что они могут влиять на качество низкочастотных данных.

Условные обозначения

ω — собственная угловая частота датчика,
 $\omega = 2\pi f$

ζ — номинальный коэффициент затухания датчика

Θ — температурный диапазон $\Theta = T - T_0 = T - 20$

Тип I — сейсмоприемник SM-24 с алико-магнитом

Тип II — сейсмоприемник, использующий редкоземельный магнит

Благодарность

Авторы выражают благодарность компании Input/Output, Inc. за разрешение исследовать данную тему и опубликовать полученные результаты.

Также благодарим компанию I/O Sensor Nederland b.v. за их поддержку и обеспечение данными для этого исследовательского проекта.

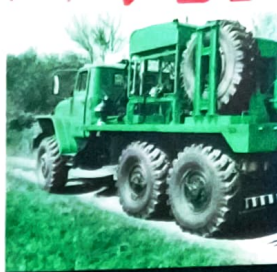
Литература

Badger, A.S., Shafer, D.L., & Maxwell, P.W. What you always wanted to know about seismic sensors but were afraid to ask. SEG Technical Program Expanded Abstracts (Что вы всегда хотели знать о сейсмических датчиках, но боялись спросить. Расширенные рефераты технической программы SEG), 1988.

Faber, C.A.M., Laroo, H.A. The Effect of Geophone Specifications on Vector Fidelity. SEG Technical Program Expanded Abstracts (Влияние технических характеристик сейсмоприемника на точность вектора. Расширенные рефераты технической программы SEG), 2001.

Kragh, E., & Christie, P. Seismic Repeatability, Normalized RMS, and Predictability. The Leading Edge, July 2002 (Сейсмическая повторяемость, нормированное среднеквадратическое значение и предсказуемость), 2002.

МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



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 - A4. Подписные 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.