

Нелинейные искажения как дополнительный источник сейсмической информации в вибрационной сейсморазведке

■ Ягудин И.Р., Гафаров Р.М., Жужель А.С., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа

Введение

Во время производства СРР с использованием вибрационного источника, в процессе излучения проектного свип-сигнала, к нему добавляются так называемые нелинейные искажения, причины возникновения которых связаны с несовершенством передачи сигнала от плиты источника к грунту, а также наличием аппаратных ограничений в работе самой системы вибрационного источника.

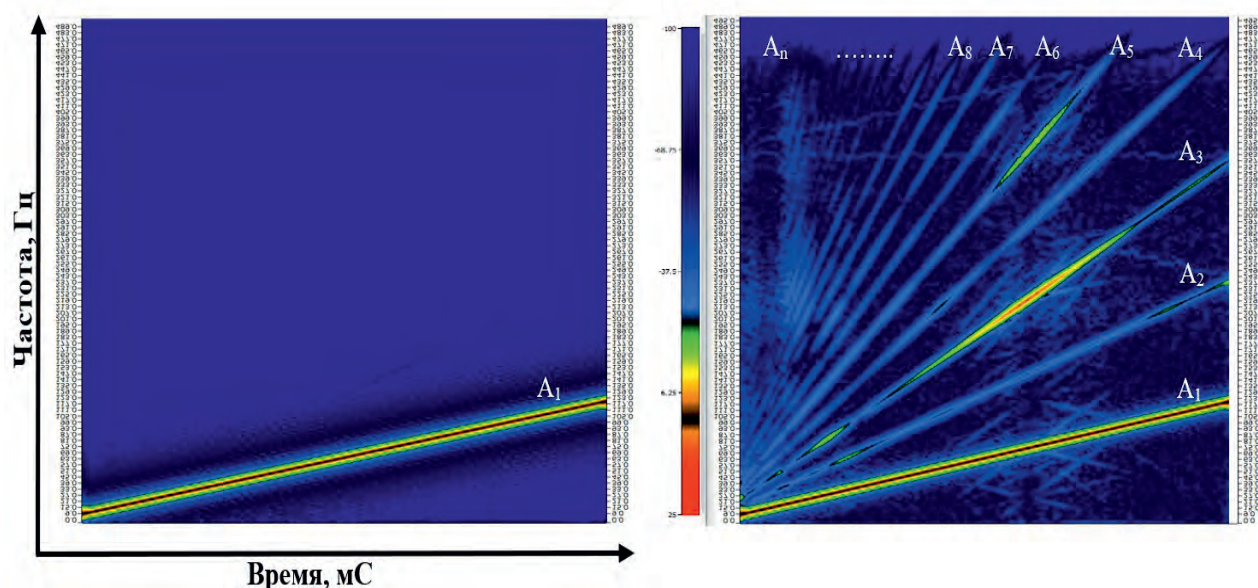
Нелинейные искажения привносят в волновое поле виброграммы такие же сигналы, как и сигналы проектного свипа, но с кратными частотами. После корреляции данные искажения перераспределяются в область отрицательных времен полученной коррелограммы. В данной статье показано, что нелинейные искажения при определенном алгоритме обработки могут привести дополнительную полезную сейсмическую информацию к исходному волновому полю коррелограмм.

Что такое нелинейные искажения – «Distortion»

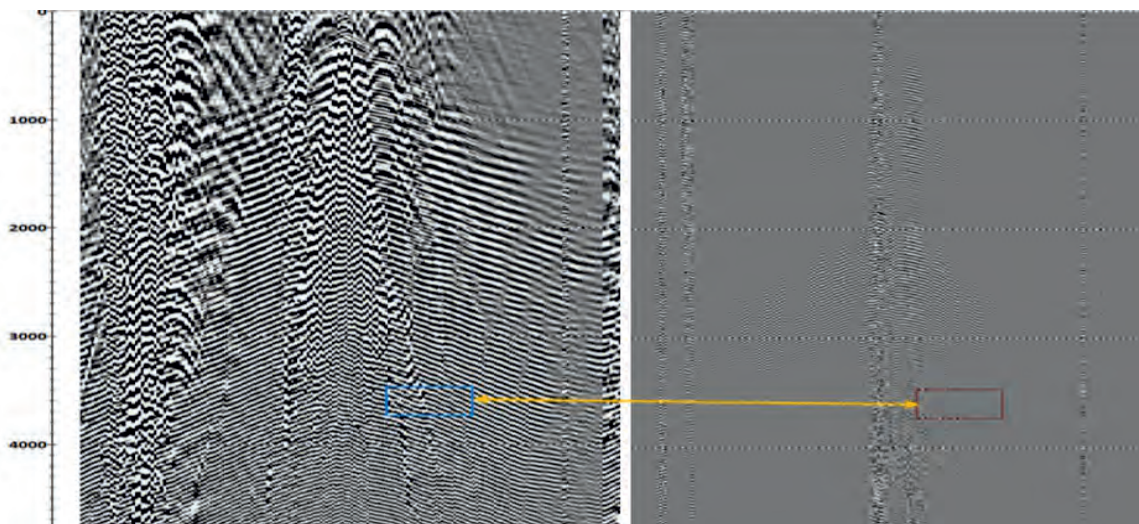
Distortion – эффект, искажающий сигнал и характеризующий степень отличия формы реального сигнала (выходного) от проектного сигнала (входного). При разложении проектного и реального свип-сигналов в частотно-временной области, очень хорошо видны наличие и интенсивность гармонических искажений в реальном свип-сигнале (рис. 1).

Основной причиной, приводящей к появлению в сигнале четных гармоник $A_2, A_4, A_6, \dots A_{2n}$ является несимметричность процесса возбуждения на контакте плита-грунт, а именно отрыв излучающей плиты от грунта при повышенных амплитудах воздействий. Появление же нечетных гармоник $A_3, A_5, A_7, \dots A_{2n-1}$ обусловлено нелинейностью передаточной характеристики дроссельного привода возбудителя вибраций [1].

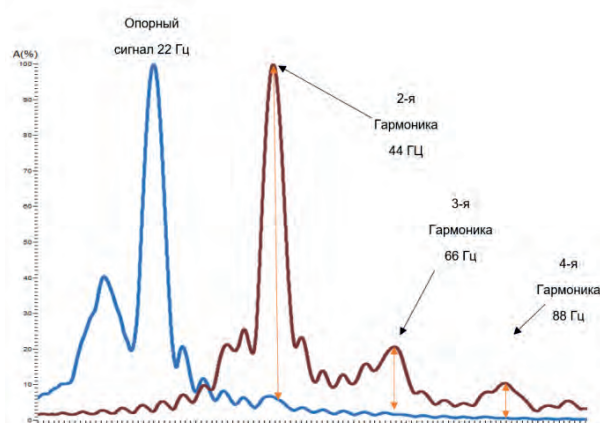
Исходя из этого следует, что на определенных временах, помимо основной



▲ Рис. 1. Разложение проектного (слева) и реального (справа) свип-сигналов на гармоники в области время-частота.



▲ Рис. 2. Фрагмент виброграммы без фильтрации и с применением ФВЧ 30/35 Гц.



◀ Рис. 3. Нормированный спектр АЧХ с побочными максимумами по частоте: синий график показывает АЧХ, соответствующую проектной частоте свип-сигнала; коричневый график показывает побочные максимумы АЧХ после удаления из сигнала проектной частоты свип-сигнала.

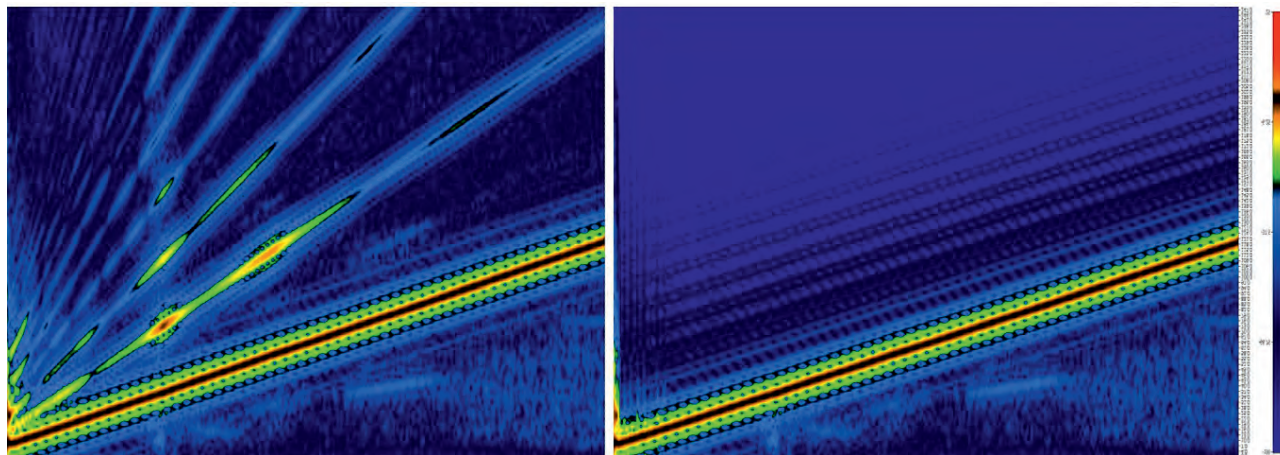
частоты, будут замешаны сигналы со значениями частоты в 2, 3 и т.д. раза большими, чем частота проектного свип-сигнала (рис. 2-3).

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), полученная во временном интервале виброграммы 3.5-3.7сек (рис.2), показывает, что максимальная частота сигнала здесь составляет 22Гц (рис.3, синий цвет), что соответствует частоте проектного свип-сигнала на данном времени излучения. Если к данной виброграмме применить фильтр-высоких частот 30/35Гц для удаления максимальной частоты проектного свип сигнала на этом отрезке времени, то получим АЧХ с максимумами на частотах, соответствующих кратным частотам максимальной частоты 44Гц, 66Гц и 88Гц

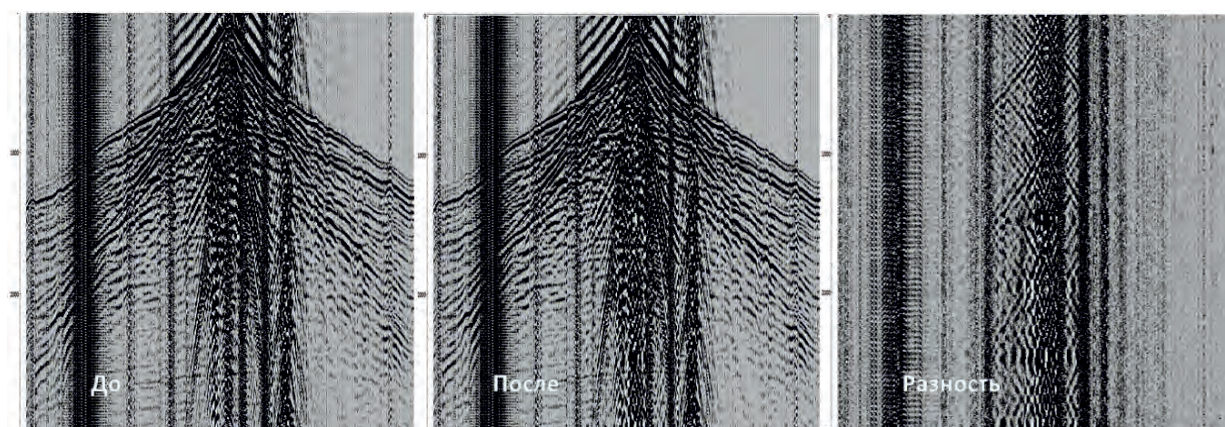
(рис. 3, коричневый цвет). Данный эффект проявляется на всех реальных полевых данных и для каждой проектной частоты свип-сигнала имеются сигналы с частотой в 2, 3, 4 и т.д. раза, превышающие проектную.

Причина возникновения данных кратных частот — «излучатель» этих сигналов. В данном случае это вибрационный источник, так как любая система, преобразующая идеальный сигнал в реальный физический, будет иметь ограничения, как в работе своих систем, так и при передаче данного сигнала в реальную среду, тем самым искажая исходный сигнал.

Чтобы показать эффект влияния кратных гармоник на сейсмический сигнал, применим скользящий фильтр [2] к



▲ Рис. 4. Представление реального свип-сигнала в частотно-временной области до и после скользящей фильтрации.



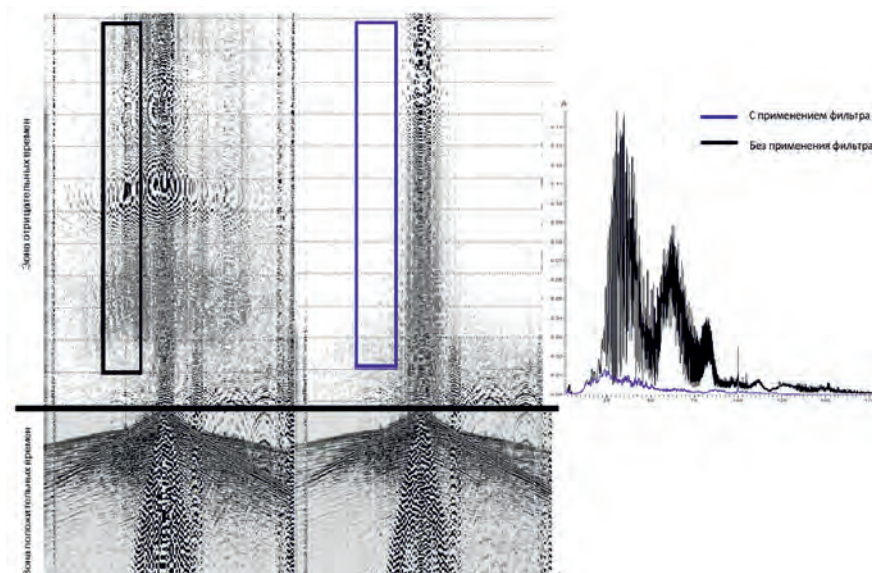
▲ Рис. 5. Коррелограммы до и после фильтрации виброграммы скользящим фильтром. Разность волновых полей.

реальному свип-сигналу, оставляя только частоты кратных гармоник.

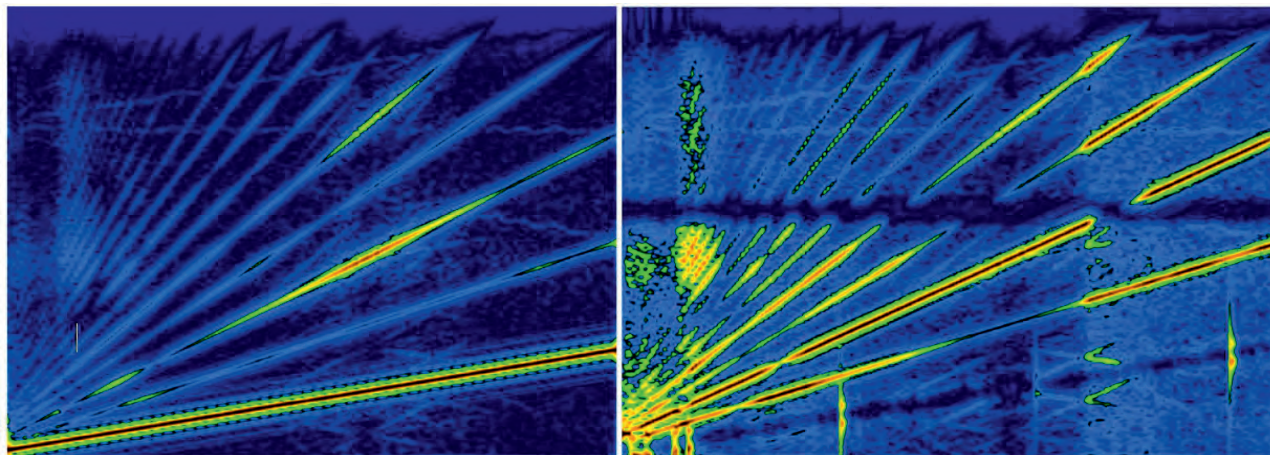
Представим полученные результаты в частотно-временной области, после применения скользящего фильтра к

реальному свип-сигналу (рис. 4). При помощи данного скользящего фильтра удалось удалить с волнового поля все «паразитные» частоты.

Применим полученный скользящий



◀ Рис. 6. Коррелограммы до и после фильтрации виброграммы скользящим фильтром. АЧХ отрицательной области времен.



▲ Рис. 7. Представление реального свип-сигнала в частотно-временной области до и после «обратной» скользящей фильтрации.

фильтр к реальной виброграмме, выполним операцию корреляции и вычтем полученные волновые поля коррелограмм (рис. 5).

Представленный выше рисунок показывает, что наличие в волновых полях виброграмм нелинейных искажений после корреляции не несут в себе никакой полезной информации.

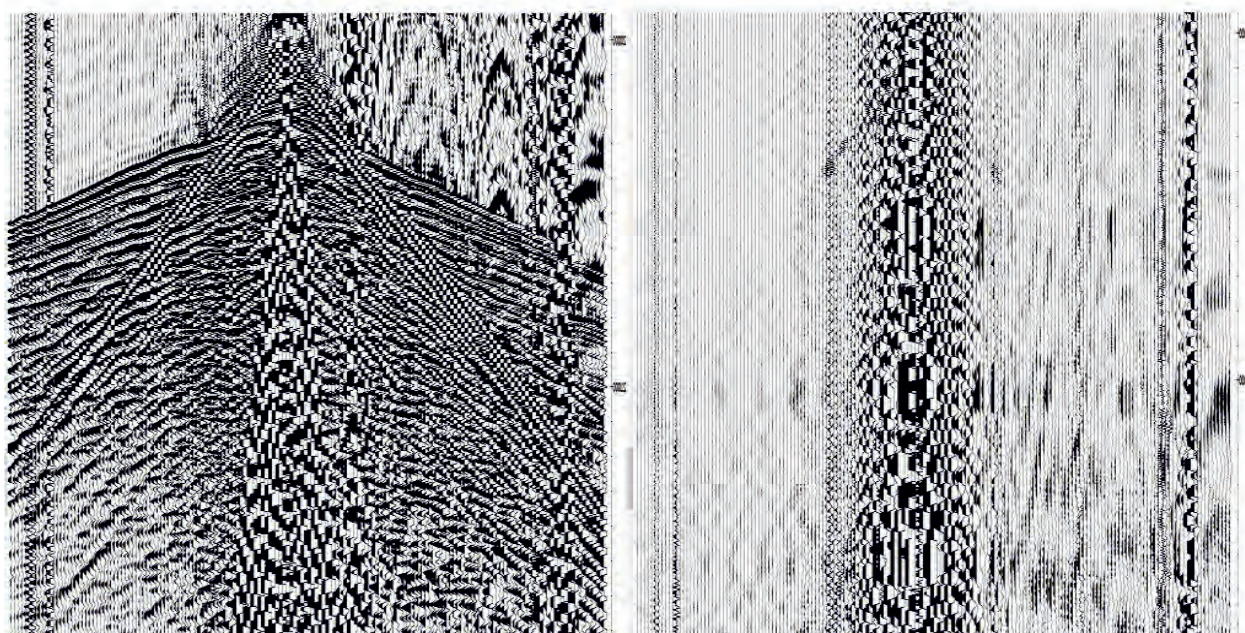
После корреляции нефильтрованной и фильтрованной виброграммы сдвинем оба полученных волновых поля так, чтобы была видна их зона отрицательных времен (рис. 6).

Сравнение АЧХ сигналов (рис. 6),

взятых в указанных областях отрицательных времен, для фильтрованной виброграммы существенно улучшилось, что говорит о том, что кратные гармоники после операции корреляции «переходят» в зону отрицательных времен.

Применим обратный скользящий фильтр, а именно удалим из волнового поля только 1-ю (основную гармонику) (рис. 7).

Применим полученный обратный скользящий фильтр к реальной виброграмме, выполним операцию корреляции и проанализируем полученные волновые поля.

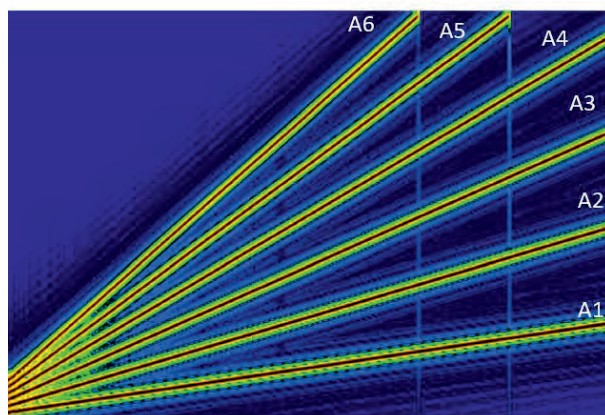


▲ Рис. 8. Коррелограмма до и после фильтрации виброграммы обратным скользящим фильтром.

На представленных коррелограммах (рис. 8) видно, что после применения обратного скользящего фильтра к виброграмме, после корреляции на волновом поле, нет никакой информации, характеризующей регулярное волновое поле. Также можно отметить, что на отфильтрованной коррелограмме остались характерные шумы техногенного происхождения, такие как зашумленные трассы и остатки поверхностной волны. Таким образом, наглядно показано, что все гармоники высшего порядка, после операции корреляции «переходят» в область отрицательных времён и практически не влияют на волновое поле коррелограммы.

Гармонические искажения как дополнительный источник сейсмической информации

Рассмотрим другой подход при работе с гармониками. Выполним селекцию определенных гармоник (2, 3, 4, 5, 6) из волнового поля виброграммы при помощи скользящего фильтра. Для каждой гармоники смоделируем свой теоретический свип-сигнал (рис. 9) и проведем операцию



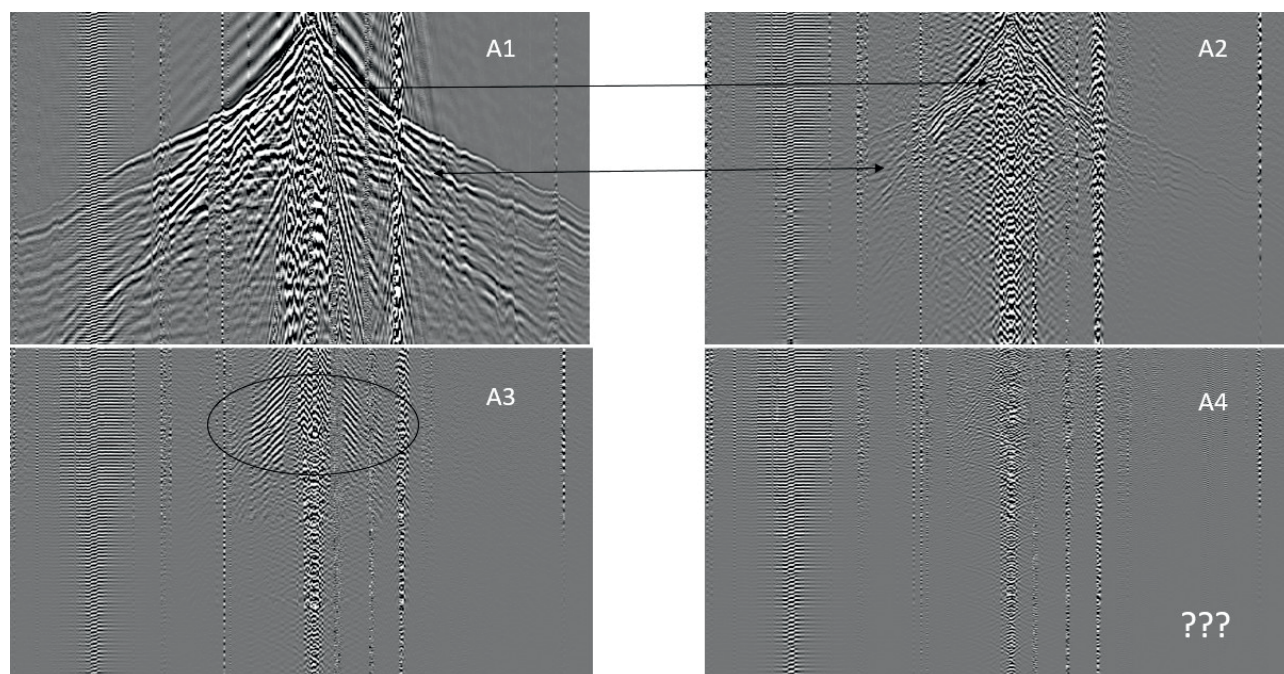
▲ Рис. 9. Проектные свип-сигналы для гармоник 1, 2, 3, 4, 5, 6 порядка.

корреляции каждой гармоники со своим свип-сигналом (рис. 10).

Для построения полевого временного разреза будем использовать данные, полученные с 2D работ (рис. 11), на которой велась запись виброграмм.

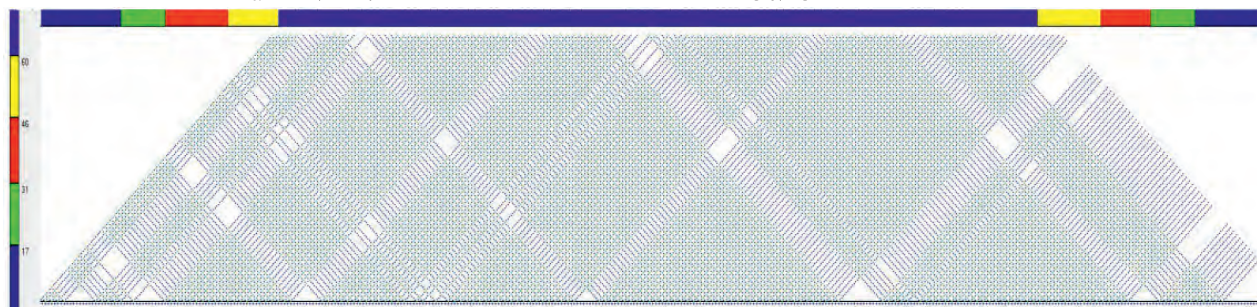
На волновых полях коррелограмм, полученных при корреляции определенных гармоник со своими смоделированными свип-сигналами, видны полезные отражающие волны, которые особенно выделяются на гармонике 2-го порядка. На коррелограммах 3 и 4 гармоники сложно визуально идентифицировать полезные волны. Однако, при суммировании волно-

▼ Рис. 10. Волновые поля коррелограмм 1-ой (A1), 2 (A2), 3(A3), 4(A4) гармоник.



Для построения полевого временного разреза будем использовать данные, полученные с 2D работ на котором велась запись виброграмм. Параметры обработки 2D профиля:

Источники возбуждения:	Одиночный СВ
Параметры свип-сигнала (F_n , F_k , T_p):	7-120 Гц, 500 мсек
Длина свипа:	48 сек
Количество накоплений:	1
Шаг ПВ/ПП:	50/25 м

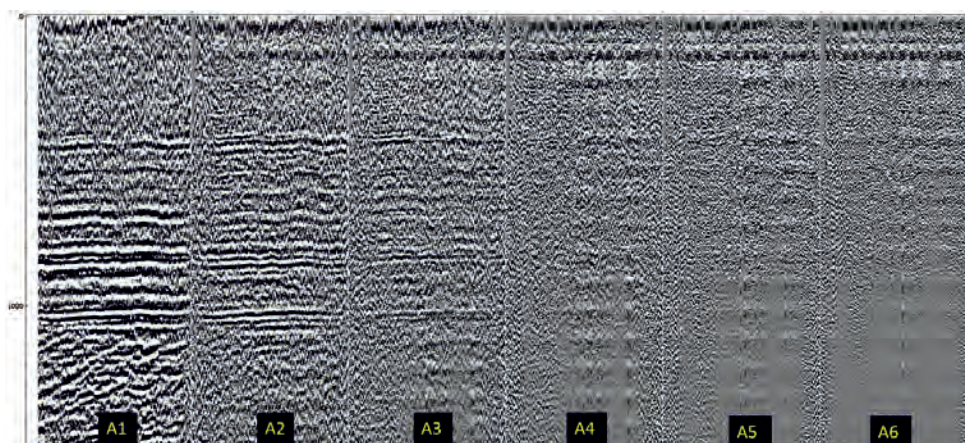


▲ Рис. 11. Фактическая кратность 2D.

вых полей при построении временных разрезов (рис. 12-13) можно видеть проявление отражённых волн даже на 5-6 гармониках.

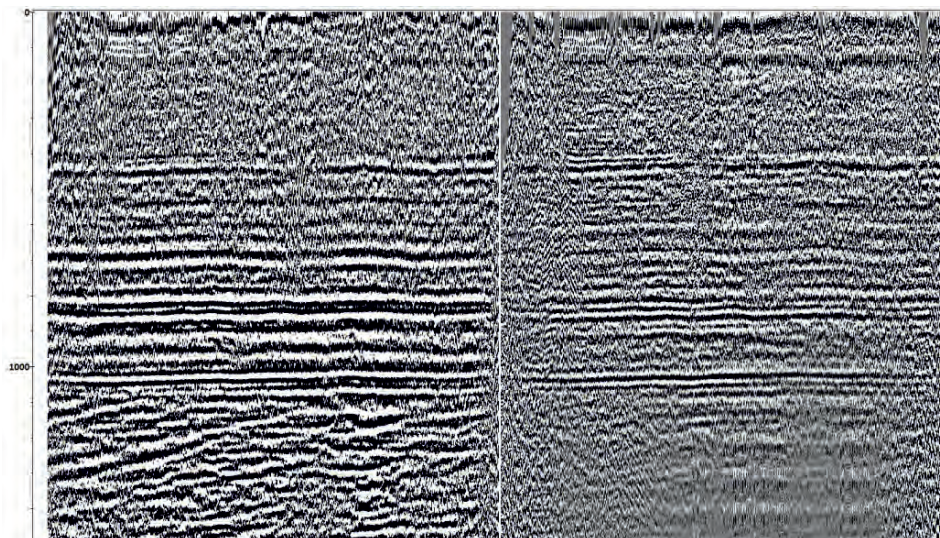
Построим полевые временные разре-

зы по одному графу для 1-ой, 2, 3, 4, 5, 6 гармоник соответственно. На волновых полях полученных разрезов (рис.12) отчетливо наблюдаются отражения даже на 4-5 гармониках. При более профессио-

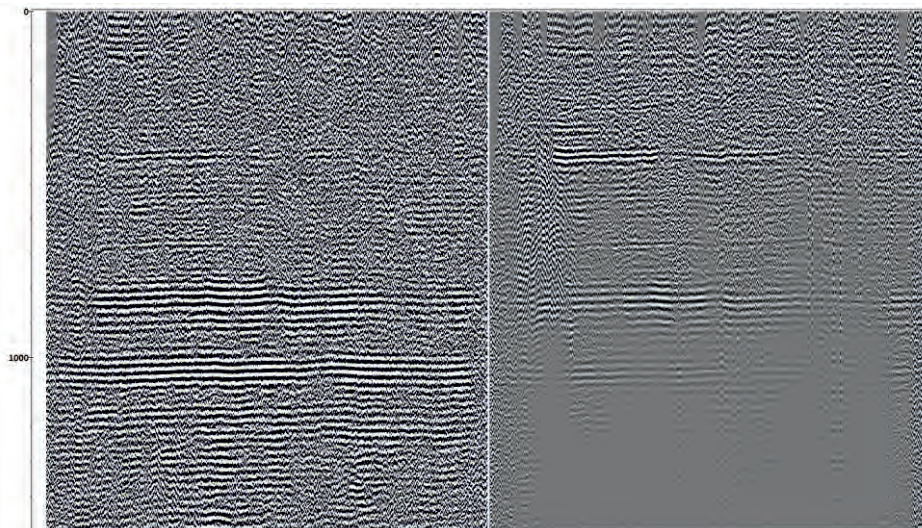


◀ Рис. 12. Полевые временные разрезы, полученные отдельно по 1-ой (основной), 2, 3, 4, 5, 6 гармоникам.

▶ Рис. 13. Полевые временные разрезы, полученные по 1-ой (основной) и сумме 2, 3, 4, 5, 6 гармоник.



► Рис. 14.
Полевые временные
разрезы после
ФВЧ 34/45Гц,
полученные по 1-ой
(основной)
и сумме 2, 3, 4,
5, 6 гармоник.



нальном построении временных разрезов, можно продолжить представленный ряд гармоник и дальше.

Нелинейные искажения, которые всегда присутствуют в волновых полях, не только не искажают волновое поле коррелограмм, но и при дополнительной обработке позволяют дополнить сейсмической информацией волновые поля, особенно для ВЧР. Отчетливо это видно после применения ФВЧ по полученным временным разрезам (Рис. 14).

Необходимо отметить, что энергия гармоник не постоянна. Где-то нелинейные искажения имеют повышенный уровень энергии, а где-то - пониженный. Зависит это в основном от поверхностных условий возбуждения, на мягких (пашня) и болотистых грунтах могут наблюдаться повышенная энергия, а на плотных (луговина) - пониженная энергия нелинейных искажений.

Выводы

При выполнении любых работ с использованием вибрационного источника, в волновых полях виброграмм в излучаемом свип-сигнале дополнительно присутствуют кратные гармоники (нелинейные искажения), которые практически не искажают полезную часть волнового поля коррелограммы, но и

при определенной обработке могут привести в волновое поле дополнительную сейсмическую информацию. При этом также необходимо отметить, что привлечение дополнительных аппаратных средств или усложнение методики работ не требуется, необходимы только наличие волновых полей виброграмм.

Литература

1. Zhukov A. P., Kolesov S. V., Shekhtman G. A., Shneerson M. B., 2011, Seismic exploration with vibration sources: Tver, Publishing house GERS.
2. Gafarov R.M. Primenenie sledyashchej fil'tracii pri obrabotke dannyh Slip sweep // Geofizika. 2012. № 4. S. 47-53.