

О целесообразности применения комбинированных сигналов в современной вибросейсморазведке

Кострыгин Ю.П., ООО "Институт геолого-экологических технологий и исследований", г. Краснодар
Барулин Д.А., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

Значительные успехи, наметившиеся в последние годы в области геологической интерпретации сейсмических материалов, выдвигают весьма жесткие требования к качеству исходных сейсмограмм и обуславливают необходимость соответствующей коррекции методики вибросейсмических наблюдений. В этой связи следует обратить внимание на ряд требований, сформулированных в "Методических рекомендациях по применению пространственной сейсморазведки 3D" утвержденных в 2002 г. министерствами природных ресурсов и энергетики России [3]. В этом документе отмечается, что при исследованиях 3D методика наблюдений должна обеспечивать спектральную плотность полезных сигналов, превышающую фоновый уровень на суммарных записях, в частотном диапазоне 60-80 Гц. Только при таком условии, по мнению авторов рекомендаций, технология сейсмической инверсии, являющаяся неотъемлемым элементом комплекса работ 3D, отличается высокой эффективностью.

Указанные требования безусловно справедливы и при использовании вибросейсмических способа разведки должны выполняться. Вместе с тем подавляющее большинство вибросейсмических партий России в настоящее время продолжает применять в качестве зондирующих сигналов в основном ЛЧМ-развертки. В таком варианте вибросейсмический метод практически всегда заметно уступает по своим возможностям взрывной сейсморазведке. Так, для отраженных волн, регистрируемых на временах более 2 с, верхняя частота эффективной полосы спектра при использовании широкополосных ЛЧМ-сигналов, как правило, не превышает 40-45 Гц для первичных коррелограмм и 60-70 Гц для окончательных временных разрезов [1].

Физически ограниченные возможности метода при работе с ЛЧМ-сигналами прежде всего связаны с особенностями постановки задачи по созданию сейсмических вибраторов. В настоящее время разработчики вибраторов ставят перед собой задачу создания "широкополосных вибраторов", подразумевая под этим вибраторы, которые в широком диапазоне частот обеспечивают примерно одинаковое усилие на грунт. Однако при проведении сейсморазведочных работ в основном применяются датчики скорости смещения, и уже поэтому, так называемые "широкополосные вибраторы" в случае использования ЛЧМ-разверток позволяют формировать в результате интегрирования широкополосных сигналов ускорения относительно низкочастотные колебания.

Расширить амплитудный спектр регистрируемых сейсмических сигналов возможно путем использования управляющих разверток с нелинейным законом изменения текущей частоты, а также комбинированных разверток, состоящих из нескольких ЛЧМ-сигналов, разделенных промежутками времени. Из нелинейных разверток наибольшее применение получили кусочно-линейные, логарифмические и степенные развертки [1]. При формировании же комбинированных разверток достаточно успешно используются последовательности ЛЧМ-сигналов, состоящие из трех-четырех сегментов одинаковой длительности и амплитуды с равными значениями максимальных частот F_{max} и равными значениями минимальных частот F_{min} [2].

Очевидное преимущество нелинейных разверток по сравнению с комбинированными развертками заключается в возможности более строгого задания формы желаемого амплитудного спектра управляющего сигнала. Поэтому амплитудные спектры и корреляционные импульсы отраженных волн при

работе с нелинейными развертками могут быть достаточно близки по форме к спектрам импульсам ФАК соответствующих ЛЧМ-сигналов. К преимуществам использования нелинейных разверток следует также отнести и то обстоятельство, что каждое последующее воздействие при работе с такими развертками идентично предыдущему воздействию, что повышает эффективность работы системы фазовой коррекции возбуждаемых колебаний.

Вместе с тем, многочисленные исследования показали, что комбинированные развертки в свою очередь имеют ряд весьма серьезных преимуществ по сравнению с нелинейными сигналами. И именно комбинированные развертки в ряде случаев обладают преимуществами комбинированных разверток. К ним следует отнести более низкий уровень корреляционного фона в дальней зоне корреляционной функции.

В качестве примера на рис. 1 сопоставлены графики динамического диапазона корреляционного преобразования, рассчитанные при использовании различных типов вибросейсмических сигналов для условий юго-западной части Прикаспийской впадины. Можно видеть, что в конкретных условиях уровень корреляционного фона в дальней зоне корреляционной функции при работе с комбинированным сигналом, состоящим из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F_1=15-90$ Гц, $\Delta F_2=90-43$ Гц, $\Delta F_3=43-90$ Гц, практически не отличается от интенсивности корреляционного фона, формируемого ЛЧМ-сигналом с частотным диапазоном 15-90 Гц. Для нелинейных же разверток, представляющих непрерывные последовательности 8, 12 и 16 ЛЧМ-сигналов, уровень корреляционных помех превышает уровень корреляционного фона при работе с комбинированными развертками на 5 дБ при $\tau=0,75$ с, на 7 дБ при $\tau=1$ с, на 13 дБ при $\tau=1,5$ с и на 12 дБ при $\tau=2$ с.

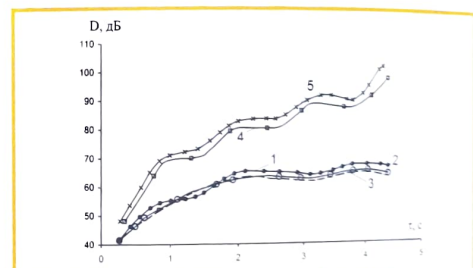


Рис. 1 Графики динамического диапазона корреляционного преобразования, рассчитанные для юго-западной части Прикаспийской впадины. 1,2,3 - кусочно-линейные развертки, число сегментов равно соответственно 8, 12 и 16; 4 - комбинированная развертка; 5 - ЛЧМ-развертка

Достаточно серьезный недостаток нелинейных вибросейсмических сигналов, задаваемых аналитически с использованием, например, логарифмических или степенных разверток и обеспечивающих восстановление высокочастотных гармоник, заключается также в возможности практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц. При проведении исследования такие прогнозирование геологического разреза такие последствия крайне не желательны. В отличие от нелинейных разверток комбинированные сигналы включают сегменты, представленные широкополосными ЛЧМ-развертками (например, 10-90 Гц) и с необходимом образом наполняющие низкочастот-

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕХНОЛОГИЯ

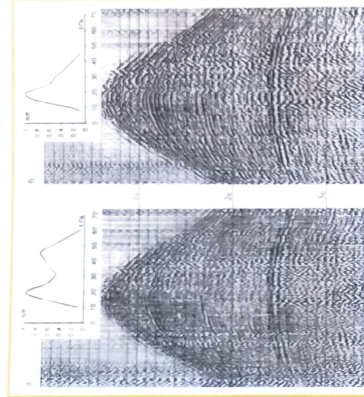


Рис. 2 Корреляграммы и соответствующие им амплитудные спектры, полученные на Западно-Губкинской площади с использованием комбинационных (а) и ЛЧМ-сигналов (б)

Губкинского нефтяного района. В качестве зондирующих сигналов в данном случае применялись:

- ЛЧМ-сигнал, $\Delta F = 10-90$ Гц;
- комбинационная разведка, состоящая из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F_1 = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц;
- нелинейная разведка с градиентом 4 дБ/октава;
- нелинейная разведка с градиентом 6 дБ/октава.

Хорошо видно, что в отличие от комбинационных сигналов при использовании нелинейных разветок весьма значительно усиливалось мешающее влияние корреляционного фона. По этой причине отражения, зарегистрированные на аренях от 2,4 с до 3,0 с, в интервале пикетов 4981-5005, и достаточно четко выделяемые в случае применения ЛЧМ-сигналов и комбинационных разветок, были практически полностью завуалированы корреляционным фоном, формируемым низкоскоростными помехами при использовании нелинейных разветок. Отражения же, регистрируемые в указанном диапазоне времен в интервале пикетов 4911-4946, были в свою очередь завуалированы при использовании нелинейных разветок корреляционным фоном, формируемым

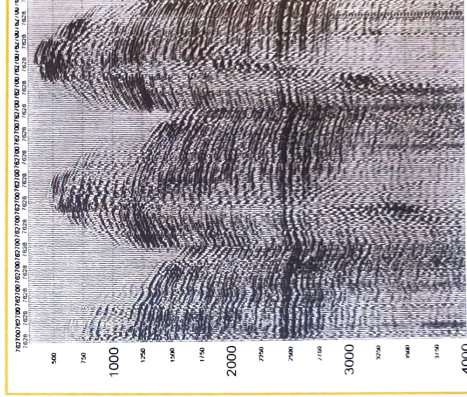


Рис. 3 Корреляграммы, зарегистрированные в условиях Северо-Комсомольской площади с использованием комбинационных разветок

ну, область спектра кодбаний. Значительные объемы вибросейсмических исследований 3D с использованием комбинационных разветок были выполнены в условиях Губкинского нефтяного района. С применением комбинационных разветок по технологии 3D было обработано около 300 квадратных километров площади в пределах Северо-Комсомольского месторождения и около 150 квадратных километров на Западно-Губкинском месторождении. Работы выполнялись ООО "Новосибирскгазгеофизика" по договору с ОАО "Газгеофизика". Коллекция побуждающей группы, состоящей из трех вибраторов СВБ-24 РС-27, разбросанных ЗАО "Тесис" и разноразных номиналов усилие на грунт 270 кН. Регистрация осуществлялась с использованием телеметрической системы SX88. В качестве зондирующего использовался комбинационный сигнал, состоящий из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц.

Обработка и интерпретация полученных таким образом материалов осуществлялась в ЦГЭ (Москва). При этом истинными специалистами ЦГЭ была сделан вывод о том, что в условиях Губкинского нефтяного района комбинационные вибросейсмические сигналы по сравнению с ЛЧМ-сигналами обеспечивают существенно более высокую эффективность исследований 3D. В качестве параметра на рис. 2 составлены корреляграммы, зарегистрированные на Западно-Губкинской площади с использованием комбинационных (а) и ЛЧМ-сигналов (б). Из рис. 2 видно, что в данных сейсмо-геологических условиях применение комбинационных разветок позволяло заметно расширить спектр регистрируемых отраженных волн и существенно повысить общую информативность получаемых сейсмограмм. При этом важно отметить, что вес высокочастотных гармоник удалось существенно повысить не только для относительно мелких отражений, соответствующих, например, границам в сеноманских и неоманских отложениях, но и для отражений, соответствующих базовому геологическому реперу ($\approx 2,4-2,9$ с). Сравнительный количественный анализ корреляграмм, выполненный с использованием программы REZOL для временного интервала 2,2-9 с, свидетельствует о том, что при переходе на комбинационные разветки максимальная частота эффективной полосы амплитудного спектра увеличилась с 45 Гц до 60 Гц, а комплексный коэффициент качества (RPN) в конкретных условиях возросла на 55%.

На рис. 3 приведены типичные корреляграммы, полученные в условиях Северо-Комсомольской площади с использованием комбинационных разветок. Очевидно, что представленные корреляграммы по своему качеству вполне соответствуют сейсмограммам, обычно регистрируемым с применением взрывных скважинных излучателей.

Указывая на возможность существенного повышения эффективности вибросейсмических исследований путем использования комбинационных сигналов, следует вместе с тем, отметить, что наблюдения с применением нелинейных разветок в целом более технологичны. Поэтому, проводя на протяжении многих лет в условиях Западной Сибири вибросейсмические работы, авторы данной статьи делали многочисленные попытки улучшить качество вибросейсмических записей за счет использования именно нелинейных разветок. Однако во всех случаях комбинационные разветки обеспечивали более высокие качества корреляграмм. Как уже отмечалось, физически это связано с более низким уровнем помех корреляционного преобразования в дальней зоне функции взаимной корреляции для комбинационных сигналов и с возможностью практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц при работе с нелинейными разветками.

Для примера на рис. 4 приведены корреляграммы, зарегистрированные на Дремучей площади

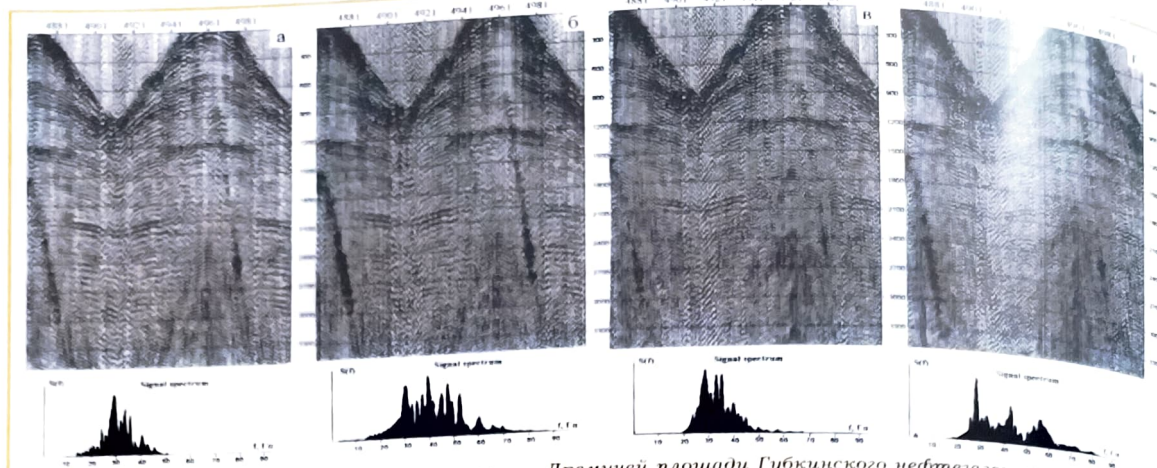


Рис. 4 Коррелограммы, зарегистрированные на Дремучей площади Губкинского нефтегазового района: а - ТЧМ-сигнал, $\Delta F = 10-90$ Гц; б - комбинированная развертка, состоящая из трех сегментов: $\Delta F = 10-90$ Гц, $\Delta F_1 = 34-90$ Гц и $\Delta F_2 = 43-90$ Гц; в, г - нелинейные развертки с градиентами соответственно 4 дБ/октава и 6 дБ/октава. Интервал спектрального анализа $\Delta t = 1,5-3$ с.

высокоамплитудными колебаниями, преломленными от подошвы зоны малых скоростей. Более того, при работе с нелинейными сигналами отмечалась потеря гармонических составляющих в частотном интервале 10-20 Гц, что ухудшало динамические характеристики полезных колебаний.

Интересен первый опыт применения комбинированных сигналов на Кубани при исследованиях 3D. На рис. 5 представлены временные разрезы, рассчитанные по ортогональным направлениям с использованием материалов 3D, полученным на Южно-Варавенской площади Краснодарского края. Процедура миграции в данном случае не применялась. Работы были проведены ОАО "Саратовнефтегеофизика" по заказу ОАО "Краснодарнефтегаз". Колебания возбуждались группой, состоящей из трех вибраторов СВ27/150К, разработанных ЗАО "Геосвип" и развивающих номинальное динамическое усилие на грунт 270 кН. Комбинированный сигнал состоял из трех сегментов с частотными диа-

пазами: $\Delta F_1 = 10-90$ Гц, $\Delta F_2 = 34-90$ Гц и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц. Целевыми являлись отражения, соответствующие отложениям понтического ($t_0 \approx 0,9-1,3$ с) и чокракского ($t_0 \approx 2,2-2,8$ с) ярусов.

Из рис. 5 видно, что в этих условиях применение комбинированных разверток позволило зарегистрировать целевые отражения с эффективной полосой амплитудного спектра 10-83 Гц. Использование таких записей для решения интерпретационных задач обеспечивает принципиальную возможность достижения высокой результативности сейсмических исследований. На временном разрезе в интервале $t_0 = 2,2-2,8$ с достаточно четко выделяются разрывные нарушения, подтверждающие блоковое строение караган-чокракских отложений. Важно также отметить, что формируя в интервале времени до 2,5-3,0 с широкополосные отражения с весьма качественной динамикой, комбинированные развертки сохраняют, в отличие от нелинейных разверток, возможность прослеживания и значительно более глубоких отражений (рис. 5). Так, на представленных временных разрезах весьма качественно прослеживаются отражения от границ в майкопском ярусе, а также высокоамплитудные отражения, соответствующие меловым и юрским отложениям ($t_0 = 3,8-4,8$ с).

Таким образом, при изучении относительно глубоко залегающих горизонтов ($t_0 > 2$ с) комбинированные сигналы, как правило, обеспечивают по сравнению с нелинейными развертками более высокую эффективность исследований. Физически это связано с более низким уровнем помех корреляционного преобразования в дальней зоне функции взаимной корреляции для комбинированных сигналов и возможностью практически полной потери гармонических составляющих в интервале частот 10-20 Гц при работе с нелинейными развертками. При более мелком залегании отражающих горизонтов в основном целесообразнее использовать нелинейные развертки [1].

Литература

1. Кострыгин Ю.П. Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь: Издательство ГЕРС, 2002. - 416 с.
2. Кострыгин Ю.П., Школьников А.Л. Исследование возможности повышения разрешающей способности вибросейсмического метода путем применения комбинированных разверток // Прикладная геофизика. - М.: Недра, 1989. - Вып. 120. - С. 63-73.
3. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. Мин. природных ресурсов России. Мин. энергет. России. М., 2002.

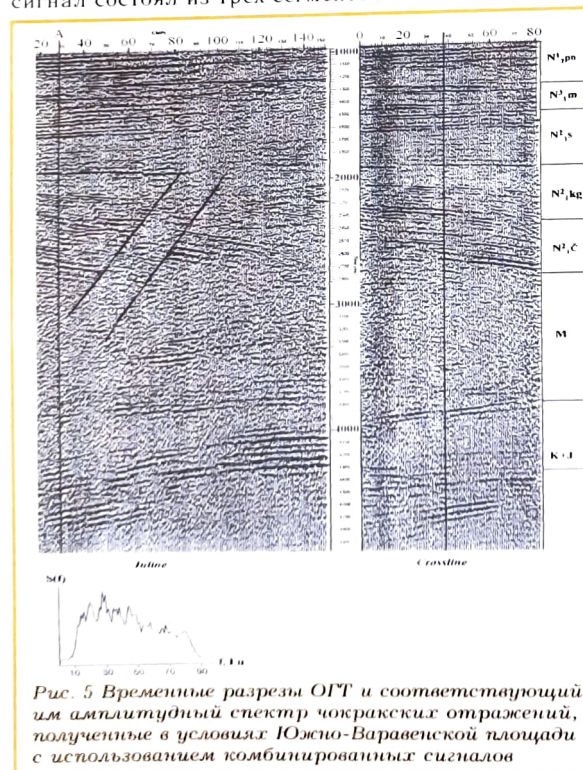


Рис. 5 Временные разрезы ОИТ и соответствующий им амплитудный спектр чокракских отражений, полученные в условиях Южно-Варавенской площади с использованием комбинированных сигналов