

Перспективы применения широкополосного свип-сигнала при проведении работ методом вертикального сейсмического профилирования

■ Садыков Э.А., Акуленко А.С., Адиев Т.Р.,
ООО НПЦ «Геостра», АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

В статье представлены результаты опытных работ по применению свип-сигналов различных типов (линейный и широкополосный) при проведении регистрации сейсмических данных методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в Оренбургской области, а также анализ перспектив применения широкополосного свип-сигнала для решения задачи по повышению разрешенности данных скважинной сейсморазведки.

На основе серии критериев, ключевым из которых являлось сопоставление результатов одномерного моделирования с трассами однократных отражений, рассчитанных по сейсмическим данным, полученным с различными свип-сигналами, определена значительная перспективность применения широкополосного свип-сигнала при выполнении последующих работ методом ВСП в пределах исследуемой площади.

Ключевые слова: широкополосный свип-сигнал, вертикальная разрешенность, сейсморазведка, ВСП, АО «Башнефтегеофизика»

Введение

Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) является самостоятельным методом скважинных сейсмических исследований, применяемым для определения и уточнения параметров геологической модели месторождений с целью минимизации геологических рисков при бурении и оптимизации процесса разработки. Наиболее распространенной модификацией метода является продольное ВСП. При реализации данной модификации сейсмоприемники перемещаются от забоя к устью скважины при фиксированном положении источника возбуждения. После проведения соответствующей обработки и интерпретации сейсмических данных ВСП, обеспечивается возможность решения серии значимых геологических задач, таких как определение кинематических и упругих параметров среды, поглощающих и анизотропных свойств и т.д. [1].

Материалы продольного ВСП, а также иных модификаций, используются и в процессе выполнения камеральной

обработки и интерпретации наземных сейсмических данных. При этом, реализуемый комплексный подход позволяет значительно повысить эффективность и точность решения широкого перечня задач, за счёт того, что трассы однократных отражений ВСП определяются вблизи глубин образования отражений и имеют тесную связь с распределением упругих свойств среды (со скважинными данными) и, одновременно, при регистрации данных ВСП применяется такой же источник, как и в наземной сейсморазведке, образующий то же волновое поле в том же частотном диапазоне [2]. Методическое развитие комплексного применения сейсмических данных наземной и скважинной сейсморазведки непрерывно совершенствуется в группе компаний АО «Башнефтегеофизика» и системно освещается в публикациях В. А. Ленского и А. С. Жужеля [3-5].

Одной из ключевых стадий актуального варианта методики комплексирования, практикуемой в АО «Башнефтегеофизика», является применение данных

ВСП для выполнения сейсмостратиграфической привязки материалов наземной сейсморазведки. Для успешного решения данной задачи, а также выполнения иных стадий методики, таких как формирование сейсмического эталона по данным ВСП для последующего определения параметров деконволюции, применяемой по материалам наземной сейсморазведки, расчёт параметров «дрейфа фаз» и т.д., важным фактором является вертикальная разрешенность сейсмических материалов ВСП, т.к. высокие значения данного параметра волнового поля обеспечивают более тесную взаимосвязь данных ВСП со скважинной информацией и, как следствие, способствуют повышению эффективности реализации методики и выполнения комплексных работ по сейсмогеологическому изучению среды в целом.

Принимая во внимание данный фактор, в рамках реализации программы по оптимизации процессов полевых сейсморазведочных работ, компанией АО «Башнефтегеофизика» в 2021 году были проведены опытные работы, направленные на анализ перспектив применения широкополосного свип-сигнала для решения задачи по повышению разрешенности сейсмических материалов ВСП. Результатам, полученным по итогам выполнения данных опытных работ, посвящена настоящая статья.

▼ Табл. 1. Основные параметры свип-сигналов.

Параметр	Линейный свип	Широкополосный свип
Начальная частота, Гц	7	3
Конечная частота, Гц	120	120
Конус, с	0.5 – 0.5	1 – 0.5
Нелинейность, дБ/Гц	0	+0.12
Длина свип-сигнала, с	12	12

Методика и результаты опытных работ

Исходные сейсмические данные ВСП были получены в одной из скважин, вскрывшей рифейские отложения и расположенной в Оренбургской области. Регистрация данных проводилась с шагом 10 метров по стволу скважины, с использованием трехкомпонентной семиточечной аппаратуры «Slim Wave» (Sercel, Франция). Поверхностный контрольный прибор располагался на расстоянии 17 метров от устья скважины, пункт возбуждения находился на удалении 136 метров. В качестве источника сейсмических колебаний была использована группа из двух сейсмических виброустановок R-Vib на базе автомобиля КАМАЗ. Для модуляции свип-сигналов была применена система GDS-II (ООО «ГСД», Москва), позволяющая стабильно получать начальную частоту свип-сигнала от 2 Гц.

При выполнении работ были использованы два типа свип-сигналов. Первый тип соответствовал линейно-частотно модулированному свип-сигналу, который широко применяется в отрасли. Второй тип имел нелинейную развертку по частоте для увеличения энергии высокочастотной компоненты и расширенный диапазон в сторону низких частот, т.е. относился к классу широкополосных. Перечень основных параметров свип-сигналов представлен в таблице 1.

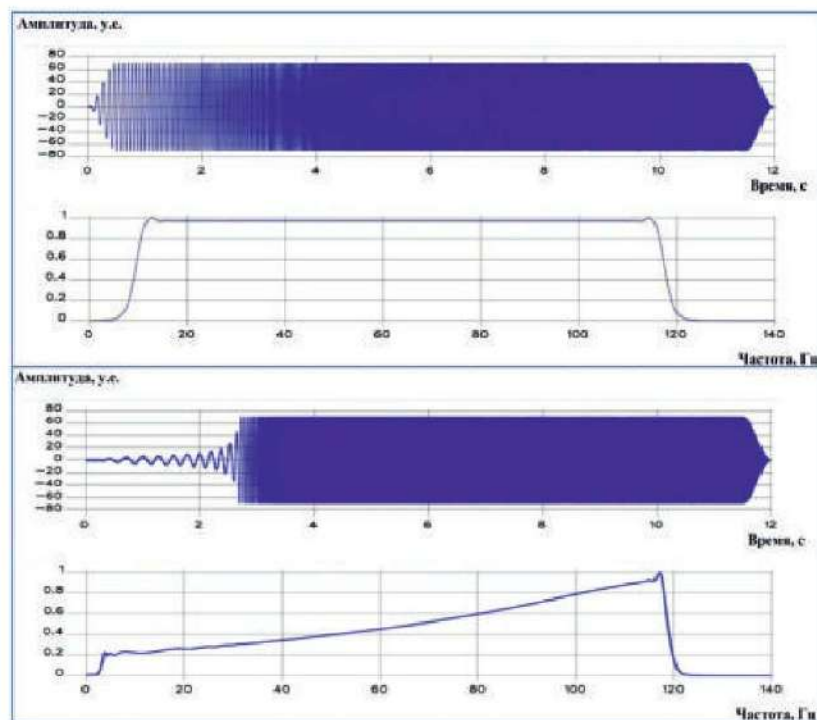


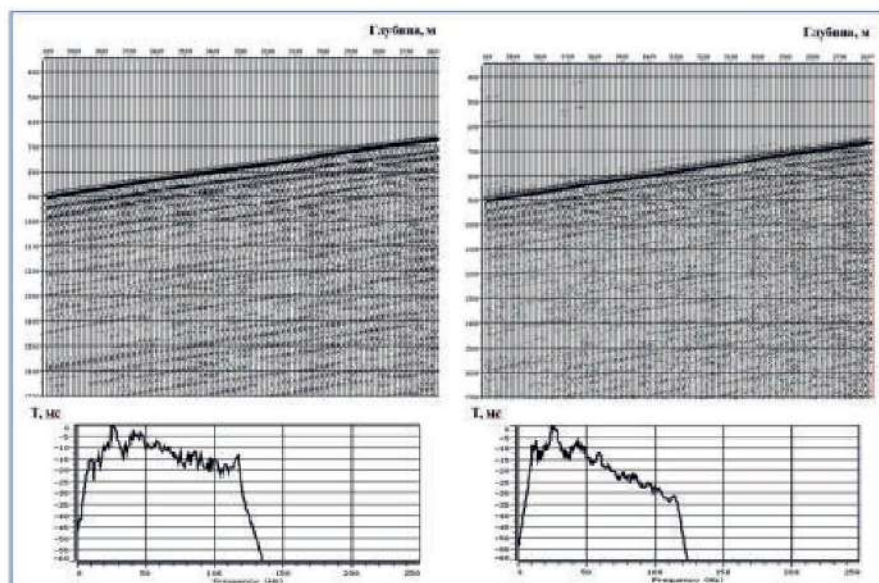
Рис. 1.
Амплитудно-
частотные
характеристики
линейного (сверху)
и широкополосного
(снизу) свип-сигналов.

Амплитудно-частотные характеристики указанных свип-сигналов представлены на рисунке 1.

Полевые данные, полученные с применением линейного и широкополосного свип-сигналов, были обработаны по идентичному технологическому графу, который состоял из следующей последовательности основных процедур: формирование профиля ВСП, редактирование записей, ввод статических поправок по записям контрольных приборов, определение интервальных, пластовых и средних скоростей, ориентация установки по поляризации первой волны, расчет X, Y, Z-компонент и оптимальной компоненты продольных волн, подавление интенсивных помех, разделение полей падающих и восходящих волн заданного типа, переменная во времени и глубине деконволюция по набору заданных импульсов, коррекция амплитуд за геометрическое расхождение фронта волны, приведение поля отраженных волн к вертикали (лучевая миграция), получение трасс однократных отражений (коридорная сумма).

Исходные сейсмические материалы и результаты, полученные после проведения обработки, были проанализированы. В процессе анализа установлено, что волновые поля, полученные с применением свип-сигналов обоих типов, характеризуются сопоставимым уровнем прослеживания основных типов падающих и восходящих волн. На амплитудно-частотном спектре сейсмических данных, полученных с линейным свип-сигналом, отмечается равномерное затухание амплитуд с увеличением частоты, что является стандартным для условий применения свип-сигнала данного типа. Амплитудно-частотный спектр сейсмических данных, полученных с широкополосным свип-сигналом, характеризуется равномерным распределением амплитуд по частоте и более широким освещенным частотным диапазоном за счет вклада энергии компоненты низких частот (рис.2). При этом, оба набора данных не имеют каких-либо явно выраженных артефактов и являются пригодными для решения геологических задач.

► Рис. 2. Волновые поля ВСП до обработки и амплитудно-частотные характеристики линейного (слева) и широкополосного (справа) свип-сигналов.

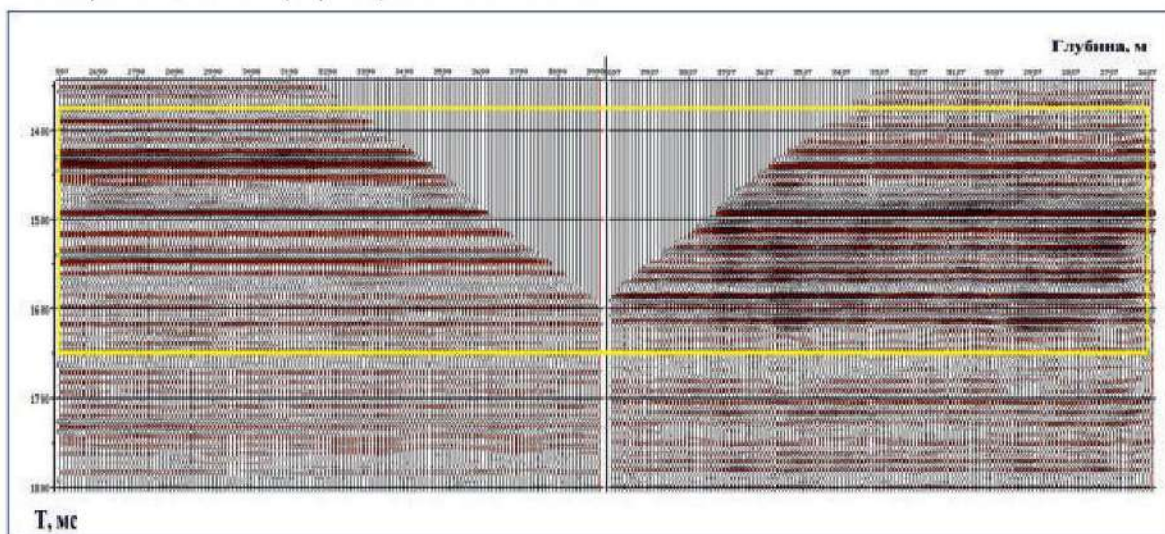


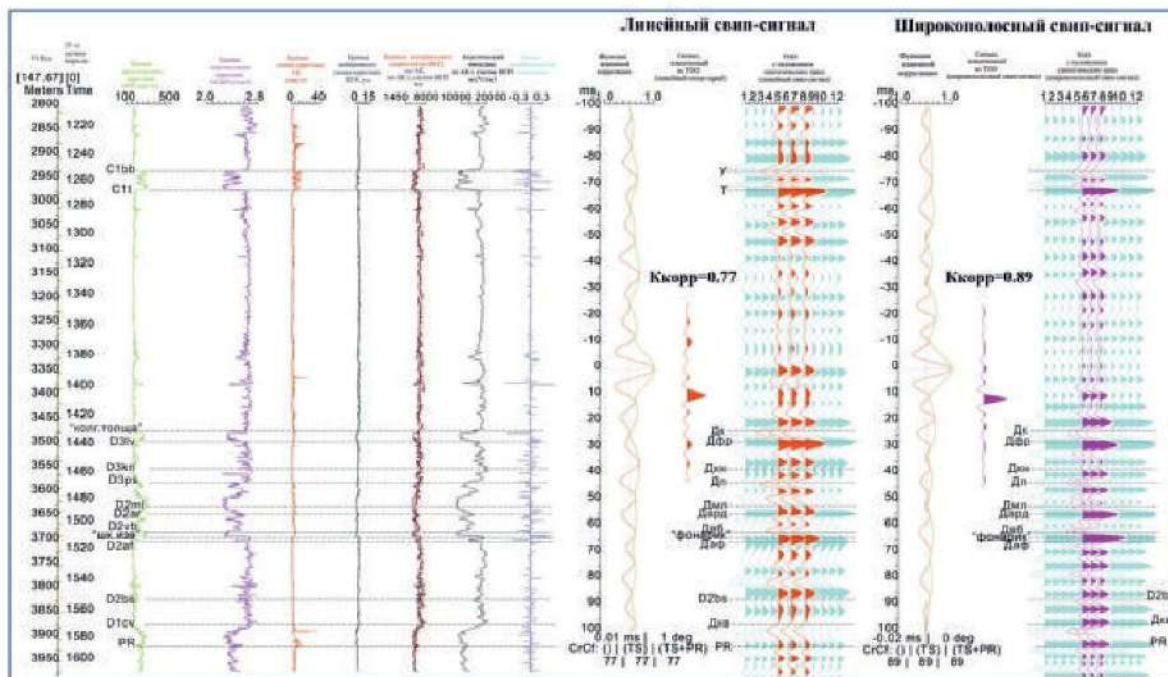
После выполнения обработки сейсмических данных, расхождения в отношении вертикальной разрешенности волновых полей становятся однозначными. Даже при визуальном анализе, в целевом интервале 1450-1650 мс по данным, полученным с применением широкополосного свип-сигнала, высокочастотные оси синфазности, которые могут быть ассоциированы не только с опорными, но и целевыми горизонтами малой мощности, выделяются гораздо более

контрастно, чем на волновом поле, полученном с применением линейного свип-сигнала, где данные оси синфазности либо прослеживаются не однозначно, либо отсутствуют (Рис.3).

Таким образом, модуляция низких частот (широкополосный свип-сигнал) позволила обеспечить увеличение вертикальной разрешенности сейсмических данных за счет понижения побочных максимумов импульса сигнала и, как следствие, получить сейсмическое

▼ Рис. 3. Поля отраженных продольных волн, выведенные на вертикаль, после выполнения обработки сейсмических данных ВСП, полученных с линейным (слева) и широкополосным (справа) свип-сигналами.





▲ Рис. 4. Результаты одномерного моделирования.

отображение горизонтов за счёт более глубокого проникновения излучаемого сигнала.

Данный вывод подтверждается и при выполнении одномерного моделирования, одного из ключевых инструментов проведённого анализа. На рисунке 4 представлены данные ГИС (слева направо: кривая акустического каротажа, кривая плотностного каротажа, кривая гамма-каротажа, кривая нейтронного гамма-каротажа, кривые интервальных скоростей по ВСП, акустический импеданс, трасса коэффициентов отражения), а также трассы однократных отражений (ТОО), рассчитанные по сейсмическим данным, полученным с использованием линейного и широкополосного свип-сигналов, и совмещенные с соответствующими синтетическими трассами, рассчитанными по данным ГИС, извлеченные импульсные характеристики и функции взаимной корреляции ТОО и синтетических трасс.

Извлеченные из волновых полей импульсные характеристики, позволяют

сделать заключение о более высокой степени сжатия главного максимума и понижении амплитуд побочных максимумов для данных, полученных с применением широкополосного свип-сигнала по сравнению с линейным, что является подтверждением увеличения вертикальной разрешенности. При этом значение коэффициента корреляции синтетической трассы с трассой однократных отражений, значимо увеличилось с 0,77 до 0,89, что свидетельствует о существенном повышении сходимости сейсмических и скважинных данных. Таким образом, отождествление отражающих горизонтов на волновом поле стало более однозначным, количество горизонтов, ассоциированных с нуль-переходом трасс, значительно уменьшилось.

Заключение

Необходимость излучения максимально возможной полосы частот, в отношении вертикального сейсмического профилирования, вытекает из главной

методической задачи метода, изучения условий выделения отраженных волн от всех сейсмических границ, представляющих геологический интерес [6]. Выполненные опытные работы подтвердили важность соблюдения данного условия, а также тот факт, что расширение диапазона частот свип-сигнала в низкочастотную область даже на несколько герц с одновременным увеличением энергии высоких частот по развертке свип-сигнала позволяет значительно увеличить вертикальную разрешенность результирующих материалов ВСП, что обеспечивает более точное решение поставленных перед методом геологических задач, а также повышает эффективность реализации методик комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки. Таким образом, выполненные опытные работы подтвердили перспективность применения широкополосного свип-сигнала при последующих работах методом продольного ВСП в пределах исследуемой площади.

Литература

1. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М.: Недра, 1982. 344 с.
2. Направления развития технологии ВСП в АО «Башнефтегеофизика» / Ленский В.А. [и др.] // Геофизика. 2022. №4. С. 27-36.
3. Ленский В.А., Жужель А.С., Иркабаев Д.Р. Возможности ВСП при обработке и интерпретации данных наземной сейсморазведки 2D/3D // Геофизика. 2020. №4. С. 16-24.
4. Ленский В.А., Жужель А.С. Дрейф фаз отражений и возможность его оценки с использованием ВСП // Геофизика. 2021. №1. С. 21-25.
5. Ленский В.А., Жужель А.С. Актуальные задачи современной стратиграфической привязки отражений по данным ВСП // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. №6. С. 42-49.
6. Шехтман Г.А. Методика проведения работ в скважинной сейсморазведке // Приборы и системы разведочной геофизики. 2015. №3. С. 59-70.