

Современное состояние вибрационной сейсморазведки.

Обзор методик

■ Шнеерсон М.Б., проф. МГРИ и РГУ нефти и газа,

■ Жуков А.П., проф. МГУ, г.Москва

Введение

Практика применения вибрационной сейсморазведки показывает, что она достаточно эффективна и обоснована теоретически и экспериментально [1,2]. Тем не менее, необходимость решения все более сложных задач и стремление к снижению стоимости работ обосновывают необходимость развития и совершенствования методики полевых вибросейсмических работ. В последние годы наметились достаточно эффективные направления развития методики полевых вибросейсмических работ, основные из которых следующие: расширение частоты возбуждаемых колебаний в сторону низких и высоких частот, адаптивная вибрационная сейсморазведка (АВИС); повышение производительности полевых работ; использование совмещенных, смешанных систем наблюдений; переход на одноточечные схемы возбуждения и приема колебаний. Рассмотрим основные положения этих направлений и результаты их применения [3].

1. Расширение частотного состава возбуждаемых колебаний.

Общепринятая технология работ предусматривает возбуждение колебаний в полосе частот от 8 – 10 Гц до 80 – 100 Гц, т.е. в пределах 3,0 – 3,5 октав. Современные требования к качеству конечных материалов сейсморазведки обосновывают необходимость расширения полосы частот регистрируемых колебаний до 5 – 6 октав. Увеличение октавности вибрационных записей возможно путем смещения частоты возбуждаемых колебаний в сторону низких (до 1 – 4 Гц) частот и повышения уровня излучаемых коле-

баний за счет уменьшения скорости изменения частоты управляющего сигнала на высоких частотах (адаптивная вибрационная сейсморазведка).

1.1. Возбуждение низких частот (ВНЧ)

Эффективная работа вибраторов на частотах до 6 Гц ограничена рядом технологических факторов, из которых ключевыми являются «ход поршня», величина усилия, развиваемого вибратором, и время излучения колебаний [3]. Значимость этих параметров основывается на том, что при квазигармоническом излучении колебаний справедливо следующее соотношение, которое вытекает из второго закона Ньютона:

$$f = (F / 4\pi^2 S M_r)^{1/2},$$

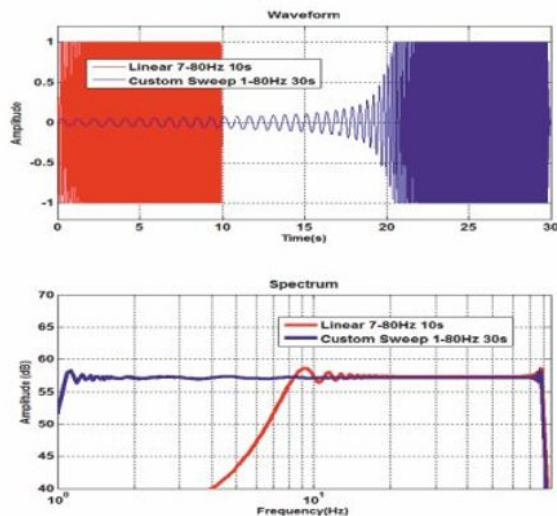
где f – частота возбуждаемых волн, F – усилие, развиваемое вибратором, S – ход поршня и M_r – реактивная масса вибро-возбудителя (масса гидравлического цилиндра).

Из приведенного уравнения следует, что смещение в сторону низких частот возможно путем снижения силового параметра вибратора, увеличения «хода поршня» и инерционной массы. Работы по созданию широкополосного вибратора с рабочей полосой частот 6 и более октав ведутся в двух направлениях:

Первое – предусматривает снижение уровня возбуждаемых колебаний и увеличение длительности излучения на частотах менее 6 Гц на существующих вибрационных источниках.

Второе – предусматривает изменение, модернизацию конструкции вибратора.

Низкочастотное возбуждение на основе существующих вибрационных

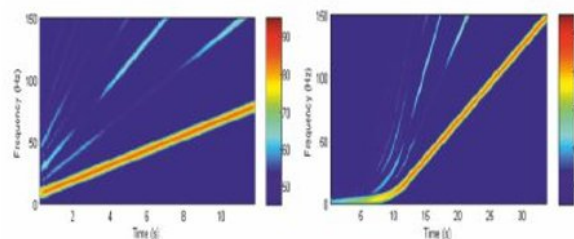


▲ Рис. 1. Амплитудные кривые и спектры управляющих сигналов с частотами 7 – 80 Гц (красные кривые) и 1 - 80 Гц (синие кривые).

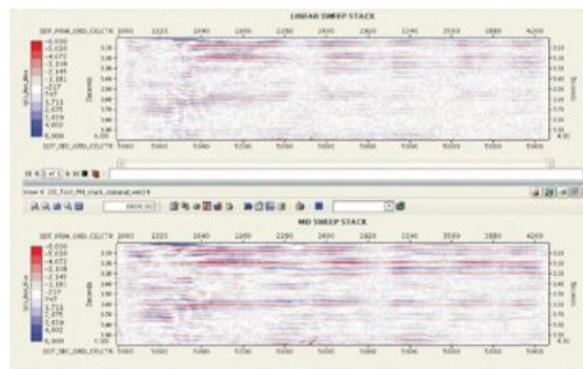
источников реализовано путем применения нелинейных управляющих сигналов с уменьшенными уровнем силового воздействия на среду [4] и скорости развертки управляющего сигнала в его начальной (низкочастотной) части, в области скоса от 8 - 5 Гц до 1,5 – 2 Гц. Снижение интенсивности генерируемых волн компенсируется увеличением времени излучения колебаний на этих частотах, что реализовано в зарубежных и отечественных вибраторах, а используемые при этом управляющие сигналы получили название «свипы максимального смещения» (maximum displacement sweep) [3]. На рис. 1 и 2 приведены характеристики этих сигналов и кривые изменения частоты во времени для линейного сигнала и сигнала максимальной длительности, которые отражают особенности последнего.

Выборочные материалы, иллюстрирующие эффективность применения расширенных по частоте управляющих сигналов, показаны на рис. 3.

Второе направление по расширению полосы частот возбуждаемых колебаний



▲ Рис. 2. Характер изменения частоты линейного управляющего сигнала частотой 8 – 80 Гц (слева) и сигнала «максимальной длительности» частотой 1,5 – 150 Гц (справа).

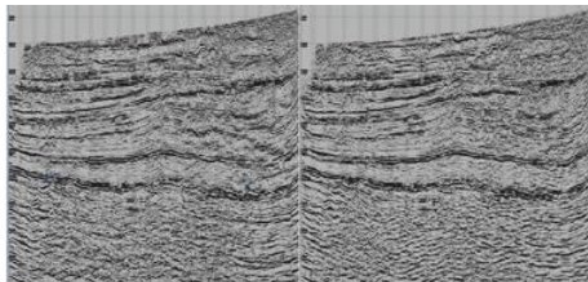


▲ Рис. 3. Временные разрезы, полученные со стандартным линейным свипом (сверху) и свипом максимальной длительности (внизу).

предусматривает модернизацию стандартных вибраторов. В [7] приведены результаты ее реализации на примере стандартного вибратора Kz2BLF-V3 для работы на частотах до 5 Гц. Они предусматривали увеличение величины хода поршня, изменение размеров излучающей плиты и некоторых других узлов.

Анализ полученных материалов показал, что разрез со свипом 1,5 – 84 Гц оказался лучше, чем с 3 – 84 Гц, особенно, в низкочастотной части (Рис.4).

Развитие вибрационной техники в этом направлении связано с созданием и промышленным применением низкочастотных сверхмощных вибраторов с усилием 80000 фунтов для работ по одноточечной технологии без группирования источников колебаний. Уход в



▲ Рис. 4. Временные разрезы, иллюстрирующие работу вибратора с сигналами 1,5 – 84 Гц (слева) и 3,0 – 84 Гц (справа).

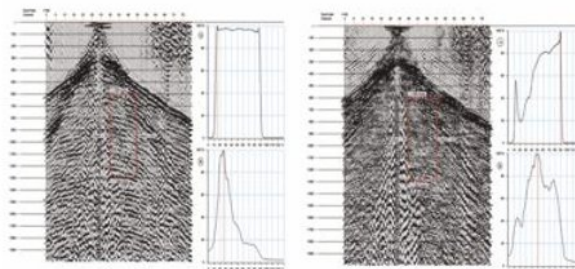
сторону низких частот при работах с отечественными вибрационными источниками также получил практическое применение в России.

1.2. Повышение уровня высоких частот (Адаптивная вибрационная сейсморазведка, АВИСейс).

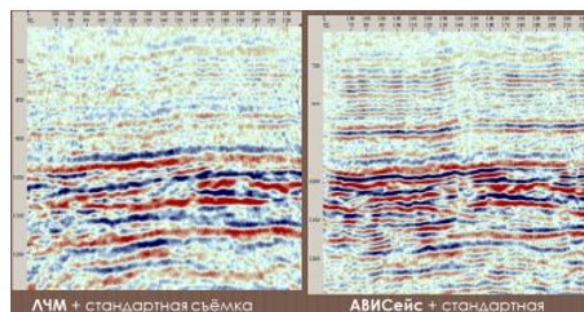
Возможности вибрационной сейсморазведки по относительно увеличению уровня высокочастотных составляющих колебаний в спектре излучаемых волновых полей реализованы в отечественном методико-аппаратурном комплексе «Адаптивная вибрационная сейсморазведка, АВИСейс» [2]. Его теоретической и методическими основами является наличие прямой зависимости уровня излучаемых колебаний от скорости изменения частоты управляющего сигнала. Поэтому ее увеличение или уменьшение приводят к соответствующему уменьшению или увеличению амплитуд генерируемых волн. Аппаратурной основой технологии АВИСейс является система управления работой вибрационных источников колебаний с набором программ, позволяющих на основании спектрального анализа зарегистрированных волн, рассчитывать параметры управляющих сигналов, компенсирующих дефект амплитуд целевых волн в заданной полосе частот. Комплекс может работать практически со всеми современными вибрационными источ-

никами и приемно-регистрирующими системами. К настоящему времени комплекс опробован и успешно применяется при проведении поисковых и детальных работ 2D и 3D. На рис. 5 и 6 приведены материалы, иллюстрирующие особенности и эффективность комплекса АВИСейс.

Сравнение коррелограмм и их спектров



▲ Рис. 5. Пример расширения спектра волн при использовании технологии «АВИСейс».



▲ Рис. 6. Фрагменты временных разрезов, полученных с сигналами ЛЧМ (слева) и по технологии АВИСейс.

Полученные материалы по увеличению октавности возбуждаемых колебаний в вибрационной сейсморазведке показывают, что совместное применение технологий «ВНЧ» и «АВИСейс» определяет перспективы развития вибрационной сейсморазведки и делают ее действительно широкополосной..

2. Повышение производительности работ.

Повышение производительности полевых работ было и остается одной из актуальных задач сейсморазведки.

Специфика вибрационной сейсморазведки, обусловленная возбуждением

протяженных во времени и различных по параметрам частотно-модулированных колебаний в сочетании с последующей корреляционной обработкой получаемых первичных записей и вычислительными возможностями современной аппаратуры, позволили предложить, обосновать и реализовать оригинальные схемы проведения полевых наблюдений, позволяющие значительно повысить производительность полевых работ. В них она достигается путем одновременной отработки нескольких физических точек, сокращения и исключения затрат времени на прием колебаний и переезд вибраторов при соответствующих изменениях аппаратуры, технологии и организации работ. Особенно эффективными эти технологии оказались при проведении работ в открытых пустынных и полупустынных районах Азии [3,7].

2.1. Разновременное возбуждение колебаний.

Один из первых способов повышения производительности работ предусматривал одновременную работу двух групп вибраторов на одну приемную расстановку, из которых одна группа вибраторов излучала сигналы с разверткой вверх (А), а другая - вниз (Б). Проведенные опытные работы подтвердили возможность разделение записей. Тем не менее, это направление не получило практического применения из-за относительно низких отношений сигнал/помеха на результирующих записях, не превышающих 30 дБ.

Следующий способ повышения производительности работ, получивший название «скользящий» свип или «slip-sweeper» [3], предусматривает работу на одну приемную расстановку приборов двух и более групп источников, расположенных на одном или разных пунктах возбуждения, с определенными, задан-

ными задержками времени. Наблюдения ведутся по схеме, по которой одна группа вибраторов возбуждает колебания, а другая - перемещается на следующий пункт возбуждения и готовится к работе. Затем начинает работать вторая группа, а первая перемещается и так далее. При этом интервалы времени между последующими воздействиями разных групп вибраторов выбираются не меньше временной глубины разведки для возможности освещения разреза на всю временную глубину. Времена начала вибрирования и положение каждой группы излучателей фиксируются и заносятся в память для последующей обработки записей. Колебания с разных пунктов возбуждения принимаются и регистрируются в памяти большого объема, образуя суммарную виброграмму. При обработке она последовательно коррелируется с использованным управляющим сигналом, но каждый раз с известными временными сдвигами, соответствующими временам излучения данного управляющего сигнала, что и позволяет разделить записи и получить коррелограммы, соответствующие отработанным пунктам возбуждения. Технология «скользящего свипа» получила применение при съемках 3D в пустынных районах ближнего Востока и в некоторых районах России. Однако, возникающие при корреляции нелинейные компоненты волновых полей (гармоники) от следующих воздействий накладываются на полезные записи от предыдущих возбуждений, снижая тем самым, качество получаемых результатов. При этом наиболее интенсивной оказывается вторая гармоника. Для ее ослабления было предложено несколько способов, которые позволяют существенно снизить уровень этих помех. Практика показывает, что наличие достаточно эффектив-

ных способов подавления гармоник расширяет перспективы применения технологии «slip-sweep» и повышения производительности полевых работ.

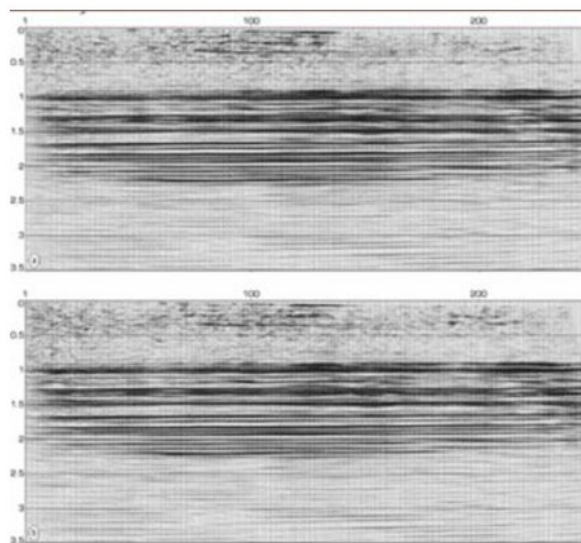
2.2. Исключение времени слушания между посылками излучаемых колебаний.

Рассматриваемая технология предусматривает излучение заданной последовательности идентичных по частоте и длительности управляющих сигналов, следующих непрерывно друг за другом и регистрацию поступающих колебаний без затрат времени на прием и регистрацию волн, кроме последнего. Эта методика получила название «каскадный свип» [3]. Для разделения сигналов каждый из серии управляющих сигналов должен иметь начальный сдвиг по фазе, равный $2\pi/n$, где n , число сигналов в серии. Опробование и применение каскадных свипов оказалось достаточно успешным, и было показано, что их применение позволяет повысить производительность работ на 20 – 40 % при допустимом уровне помех от предыдущих воздействий. Тем не менее, в последнее время наблюдается уменьшение объемов работ по этой технологии.

2.3. Применение длительных управляющих сигналов (40 и более с.)

Практика работ показывала, что посылки длительностью 6 – 10 с. являются оптимальными. Однако в свете повышения производительности работ повысился интерес к применению более протяженных во времени управляющих сигналов [3]. Он основан на том, что синхронное накопление сигналов и увеличение длительности управляющих сигналов в одинаковой степени влияют на отношение сигнал/помеха. Поэтому синхронное накопление может быть заменено более протяженными управляющими сигналами. При этом отпадает

необходимость в приеме и регистрации колебаний после каждого воздействия, что и ведет к повышению производительности работ. Кроме того, при протяженных управляющих сигналах меньше сказываются их «скосы» на уровень регистрируемых волн. На рис. (7) приведен один из значительного числа имеющихся примеров, иллюстрирующих идентичность временных разрезов, полученных с накоплением воздействий, и с соответственно более протяженными управляющими сигналами.



▲ Рис. 7. Пример идентичности временных разрезов, полученных с сигналом длительностью 48 с (вверху) и с 6 сигналами длительностью 8 с каждый (внизу).

2.4. Одновременная работа нескольких разнесенных по площади групп вибраторов.

Компания British Petroleum (BP) разработала оригинальную технологию, предусматривающую одновременную работу нескольких разнесенных в пространстве групп вибраторов на одну расстановку сейсмоприемников [3]. Предложенная методика основывается на том, что если расстояние между группами источников равно или больше, чем вынос, необходимый для прослежива-

ния самого глубокого целевого горизонта, то это позволяет получить неискаженные записи отраженных волн в пределах заданного временного интервала. Эта технология была успешно применена при широко-выносных и широко-азимутальных съемках 3D большой плотности в Омане. Исходя из условий проведения работ (области прослеживания целевых горизонтов и величина максимального выноса), расстояние между групп вибраторов было выбрано равным 12 км.

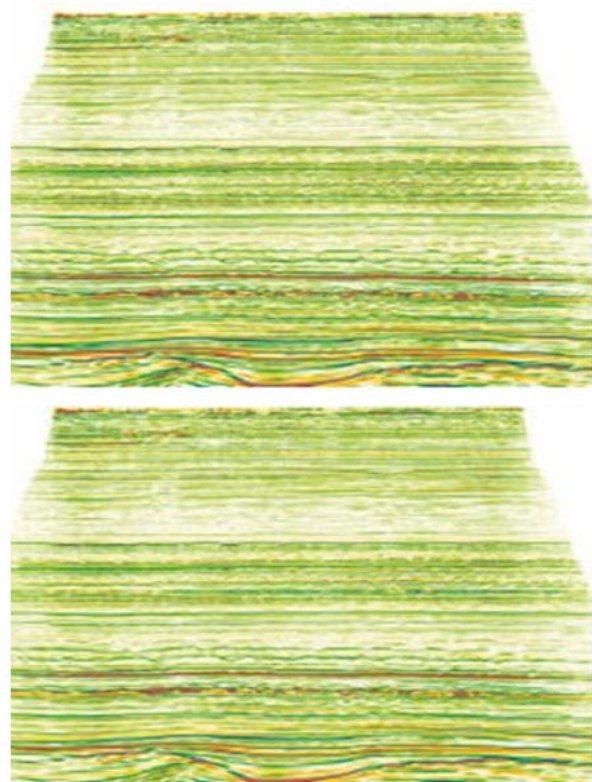
2.5. Независимое одновременное вибрирование.

В основе этой технологии лежит предположение о том, что при одновременной работе на объекте нескольких, отстоящих друг от друга вибрационных источников с произвольными, но известными параметрам управляющих сигналов, суммарное регистрируемое волновое поле будет носить нерегулярный характер [3]. И если известно время начала работы данного вибратора и параметры управляющего сигнала, то корреляционная обработка сигналов позволяет из суммарного, общего волнового поля выделить колебания, соответствующие этому вибратору. И так последовательно для каждого пункта возбуждения. Эта технология сначала была опробована при съемках 3D в Алжире, а затем успешно применена при широко-масштабных работах в сопредельных районах. Для сравнения определен участок площади был отработан по стандартной и новой методикам. На площади было задействовано восемь вибраторов, каждому из которых была выдана схема расположения тех пунктов возбуждения, которые ему необходимо было отработать. Последовательность их отработки не оговаривалась, что обеспечило эффективную, производительную

работу каждого вибраторов, т.к. отпала необходимость ожидания готовности других установок и приемной аппаратуры. На рис.8 приведены фрагменты временных разрезов по одному и тому же участку профиля полученных по стандартной и новой технологиям. Они практически идентичны, что свидетельствует об эффективности этого способа повышения производительности полевых работ.

2.6. Смешанная, совмещенная технология полевых сейсморазведочных работ.

Стремление существенного повышения качества и производительности полевых сейсморазведочных работ по плотным и сверхплотным системам наблюдений 3 и 4D обосновывают смешанную, совмещенную технологию



▲ Рис. 8. Пример разделения волн. Наверху фрагмент временного разреза, полученного по стандартной технологии. Внизу фрагмент разреза, полученного при одновременной работе излучателей.

сейсморазведочных работ (Blended acquisition), теоретические и методические основы которой освещены в работах [5,7]. Она предусматривает одновременную несинхронную работу на площади съемки большого числа источников с одинаковыми или разными параметрами излучаемых колебаний и регистрацию колебаний единой приемной системой. Последующее разделение и выделение колебаний, соответствующих каждому пункту возбуждения, производится на этапе обработки колебаний после введения соответствующих поправок. Применительно к вибрационной сейсморазведке - это работы с узкополосными различающимися по центральным частотам управляющими сигналами, обладающими следующими потенциальными преимуществами: - простота конструкции узкополосных источников; - оптимизация параметров излучаемых колебаний в соответствии с центральной частотой; - возможность эффективного перекрытия желаемого диапазона частот и существенное повышение отношения сигнал/помеха. Авторы [5,7] прогнозируют широкое применение этой технологии и «конец» несмешанных технологий ведения сейсмических работ.

3. Отказ от группирования источников колебаний.

В последнее время в вибрационной сейсморазведке наметилась тенденция отказа от группирования источников и приемников колебаний [6]. Обусловлено это стремлением к сохранению высокочастотных компонент в возбуждаемых волновых полях, которые ослабляются при ухудшении условий суммирования колебаний на базе группы при работах на участках с пересеченным рельефом и сложным строением зоны малых скоростей. Кроме того, при работах возникают трудности с размещением групп vibra-

торов на местности из-за значительных размеров излучателей. Эти причины, а также новые технические и методические решения и разработки привели к тому, что некоторые организации отказываются от применения интерференционных систем в поле и переходят на работы с одиночными вибраторами и сейсмоприемниками, так называемая «одноточечная» технология работ. Для достижения приемлемых соотношений сигнал/помеха работы проводятся по системам наблюдений повышенной плотности и с управляющими сигналами большой длительности (до 40 с). На рис. приведен один из положительных примеров работ без группирования вибраторов.

Одноточечные наблюдения привлекают все большее внимание производителей работ. Так, например, в [6] подведены итоги девятилетнего применения одноточечной технологии в Кувейте и показано, что она экономически эффективна и позволяет успешно решать структурные и интерпретационные задачи в различных сейсмо-геологических условиях.

4. Новая парадигма наземных сейсморазведочных работ.

За последние годы произошли значимые изменения в технологии наземных сейсморазведочных работ, которые, в первую очередь, связаны с применением сверх плотных систем наблюдений и существенным повышением производительности полевых работ, существенно ограничивающие возможности контроля качества каждого физ. наблюдения. В связи с этим в [8] обосновывается новая парадигма наземных полевых работ, суть которой состоит в отказе от группирования при возбуждении и приеме колебаний, в существенном повышении плотности наблюдений и в переходе от

исходных индивидуальных записей большой кратности с высоким качеством материала к записям с несколько худшим отношением сигнал/помеха, но полученным при уменьшенных до нескольких метров интервалах дискретизации по азимутам и выносам.

Заключение

Обзор современных методов вибрационной сейсморазведки показывает, что в ее арсенале имеются значительные возможности по повышению качества получаемых материалов и производительности полевых работ, которые основываются на применении широкополосных управляющих сигналов в диапазоне от 1,5 до 100 -120 Гц, одновременном возбуждении колебаний несколькими излучателями и последующем разделении волн, а также совершенствовании вибраторов и систем управления, обеспечивающих практическое применение новых технологий.

Будущее покажет, в какой степени эти направления будут эффективны и получат широкое применение в практике отечественной сейсморазведки.

Литература

1. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки (2000), Шнеерсон М.Б., Жуков А.П./ М.: ООО «Недра –Бизнесцентр»
2. Сейсморазведка с вибрационными источниками (2011), Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б./ « Изд. ГЕРС», г. Тверь
- 3.Современные тенденции вибрационной сейсморазведки (2010), Шнеерсон М. Б., Жуков А.П. / Сб. Приборы и системы разведочной геофизики №3, г. Саратов
4. «Усовершенствование низкочастотного вибратора модели Kz28LF-V3 и его применение для улучшения сейсмических изображений глубоко залегающих отражающих

горизонтов, A. Shujie, L. Zhigang, T. Zhiwei, S. Men, G.Wenpei, 2014, в сб. Расширенные тезисы докладов на ежегодной конференции SEG, Денвер.

5. Berkhout A.J. (2012), Blended acqyisation with dispersed source arrays, Geophysics, Vol.77, №4

6. Single-sensor technology – a story of success from Kuwait, (2012), A.H. El-Emam, A. Al-Eldan, K. Shams Al-Deen, 74 EAGE Conferece, Extended Abstract, P034

7.The end of unblended acqyisation, (2013), G. Berkhout, G. Blacquiére, E. Verschuur, 75 EAGE Conference, Workshop paper: 103

8. Lansley M. Shifting paradigms in land data acquisition, First Break, (2013), V.31, №3

Подробнее об авторах



Шнеерсон
Михаил Борисович

доктор технических наук, профессор
Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина.



Жуков
Александр Петрович

доктор технических наук, профессор МГУ,
Директор ООО "Геофизические Системы Данных"