

Полевые методы наземной сейсморазведки и работы по морскому вибратору

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10044

М.Б. Шнеерсон

д.т.н. профессор
shneer@bk.ru

РГГРУ (НПУ), Москва, Россия

Современные технологии сейсморазведочных работ и новая аппаратура получают все большее практическое применение в районах с низким отношением сигнал/помеха, неблагоприятными условиями проведения работ и при решении сложных, нестандартных задач. В статье рассмотрены:

- **примеры высокой эффективности современной наземной сейсморазведки при повторных съемках в Китае, в труднодоступных районах Папуа и Новой Гвинеи и на площадях с низким исходным отношением сигнал/помеха;**
- **новые технические средств, представленные дронами, широкополосным приемным устройством и специальной оптико-волоконной системой для мало-глубинных исследований;**
- **результаты работ по созданию и тестированию вибрационного источника колебаний для морской сейсморазведки.**

Материалы и методы

Описание современных методических приемов и средств, обеспечивающих повышение качества материалов и возможность проведения работ в сложных условиях и в районах с низким отношением сигнал/помеха, новых технических средств и работ по созданию и тестированию вибрационного источника для морской сейсморазведки.

Ключевые слова

наземная сейсморазведка, вибрационные источники колебаний, технология полевых работ, ноды, дрон, распределенные оптико-волоконные приемные системы, кратность наблюдений

В [1] приведено описание современных полевых методов наземной сейсморазведки, ориентированных на получение качественных исходных записей и высокую производительность работ. Настоящая статья продолжает это направление и основывается на материалах по применению некоторых ранее предложенных технологий, новым техническим средствам сейсморазведки и работам по созданию и тестированию морского вибрационного источника колебаний, получивших освещение на геофизических конференциях EAGE и SEG в 2018 г.

Применение современных полевых технологий

В [2] на примере материалов повторных съемок 3D на месторождении Shengli (Китай) показана высокая эффективность современной технологии полевых наблюдений, основанной на применении высокоплотных, широко-азимутальных и широкополосных наблюдений с регистрацией волн одноточечными пьезоэлектрическими приемными устройствами. Месторождение Shengli расположено на востоке нефтяной провинции Китая, и за время его эксплуатации в течении 40 лет оно стало полигоном по оценке эффективности новых методических и технических средств сейсморазведки. Последние, треть по счету, работы 3D были проведены в 2017 г. с целью получения материалов, характеризующих эффективность современной технологии работ и новой приемной системы LDKJ-1A в сравнении с предыдущими 2D DX и DSU3. Основные параметры систем приведены в таблице.

Приемный комплекс LDKJ-1A характеризуется высокой чувствительностью и широкой полосой пропускания 5–115 Гц, что, по мнению авторов, в сочетании с одноточечным приемом, широко-азимутальной, широкополосной и сверхплотной системой наблюдений позволило существенно повысить информативность конечных результатов (рис. 1). На рисунке приведены фрагменты временных разрезов, полученных по материалам предыдущей и настоящей съемок, которые наглядно иллюстрируют существенное повышение вертикальной и горизонтальной разрешенности записей и прослеживаемости горизонтов разреза.

Другой пример успешного опробования новой инновационной технологии проведения наземных съемок в труднодоступных районах Папуа — Новой Гвинеи приведен в [3]. Методика работ была разработана фирмой Total и ее партнерами Wireless Seismic Incorporation и Geoki Netics, и она основана на:

- возбуждении колебаний малоинтенсивными

источниками колебаний (электрический вибратор и воздушная пушка);

- регистрации волн уникальной беспроводной приемной системой, работающей в режиме реального времени;
- использовании аэро-устройств для перемещения оборудования.

Эта технология предусматривает моделирование окружающей среды и оценку возможных ограничений, использование устройств управления и контроля для обеспечения безопасного проведения работ и сейсмического беспроводного оборудования, работающего в режиме реального времени и перемещаемого по воздуху, а также текущую обработку материалов. Первые эксперименты PNG 2017 Metis были проведены для демонстрации возможности полетов по профилям в дождливую погоду и в залесенной местности, оценки возможностей приземления и соединения с DART, а также проверки качества беспроводных соединений в джунглях для регистрации сейсмических данных.

В [4] показан пример успешного применения современных технологий наземной сейсморазведки при решении старых проблем в районах с низким отношением сигнал/помеха. Картирование угленосных отложений бассейна Junggar, залегающих на глубинах 4,0–4,5 км, представляло ранее определенную проблему из-за низкого качества сейсмических материалов на временных разрезах. Стремление повысить качество исходных записей 3D невысокой кратности (51) путем регистрации волны на повышенных частотах и выносах, равных глубине залегания целевых горизонтов (4242 м), и возбуждении колебаний в мелких скважинах, не дали положительных результатов, что послужило основанием на переход к современным, более сложным системам наблюдений. Положение существенно изменилось в последние годы в связи с переходом на вибрационное широкополосное возбуждение колебаний в полосе частот 15–84 Гц, широко-азимутальные системы наблюдений с большим выносом, равным 9028 м, и кратностью наблюдений — 1458. Приведенные результаты предшествующих и современных работ, иллюстрируют существенное повышение качества картируемых угленосных горизонтов (рис. 2).

В практике наземных съемок все большее место занимают нодальные, беспроводные системы, которые применяются или самостоятельно, или в комплексе с проводными приемными системами.

В [5] приведены результаты тестовых испытаний легкой нодальной приемной системы,

Тип геофона	20 DX	DSU3	LDKJ-1A
Полоса частот, Гц	5–300	1–800	5–400
Динамический диапазон, дБ	60	118	110
Чувствительность, (V/g)		5.0	> 7
Измеряемый параметр	скорость	ускорение	ускорение
Искажения, %	< 0,2	< 0,002	0,18

Таб. 1 — Нормированные оценки критериев
Tab. 1 — Normalized evaluation criteria

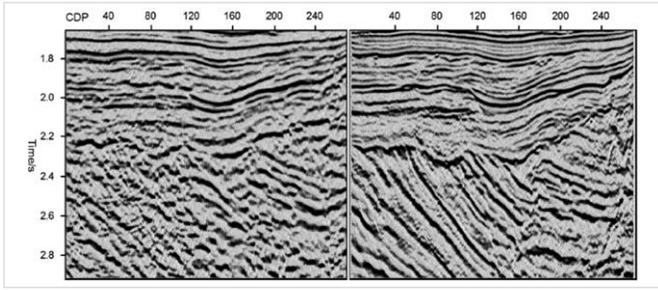


Рис. 1 — Временные разрезы, полученные по старой (слева) и новой (справа) технологиям
Fig. 1 — Comparison of seismic data: new (b), old (a)

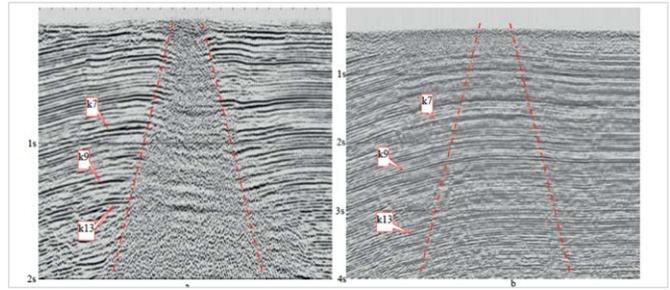


Рис. 3 — Фрагменты временных разрезов в зоне газовой залежи на PP (a) и SS (b) волнах
Fig. 3 — The 2D sections in the gas zone: a – P wave; b – SH wave

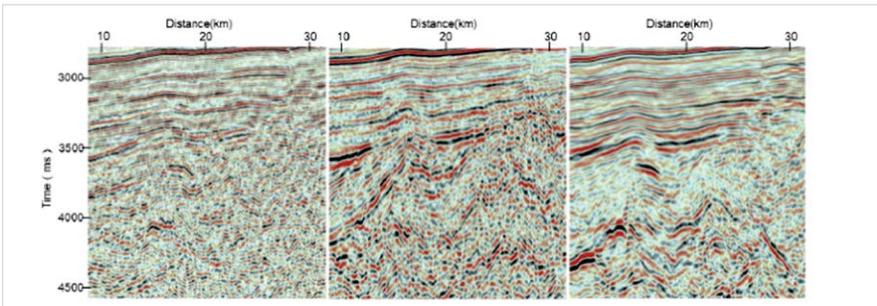


Рис. 2 — Фрагменты временных разрезов, полученных по предыдущим (слева и в середине) и последней (справа) съемкам
Fig. 2 — Seismic sections: old (left and centre) and final (right)



Рис. 4 — Дрон с группой сейсмоприемников, готовый к полету на профиль
Fig. 4 — Drones for deploying seismic nodes

разработанной фирмами ВР, Роснефть и Western Geo для проведения высокоплотных сейсмических съемок в сложных поверхностных условиях. Полевые работы были проведены в феврале–марте 2018 г. в одном из залесенных районов Западной Сибири при температурах -330С и -50С на площади 36 км². Приемная система состояла из 8 активных линий, по которым были размещены стандартная коса с сейсмоприемниками и ноды. Тестовые наблюдения показали, что скорость перемещения 31-ой приемной линии составляла 0,55 км/день, а нодальной системы — 1,5 км/день. Именно повышение производительности работ с сохранением качества материалов определяют перспективы широкого применения нодальных систем в наземной сейсморазведке.

Перспективы применения нодальных систем отмечены в [6], в которой дана краткая историческая справка по истории применения нодальных систем в наземной сейсморазведке, сформулированы их основные преимущества и приведено краткое описание некоторых из них. Авторами выделены следующие положительные качества гибких нодальных систем:

- возможность повышения качества наземных сейсмических съемок за счет мобильности систем, особенно в районах со сложными поверхностными условиями;
- уменьшение численного состава полевых сейсмических партий вследствие значительного снижения веса полевого оборудования;
- повышение эффективности и производительности полевых работ вследствие высокой надежности нодов, возможности круглосуточной работы при температуре от -400С до +600С градусов и использования спутниковой системы для определения координат;
- наличие автоматизированного контроля состояния и работоспособности нодов;
- применение в нодах стандартных деталей и безопасность их применения.

В докладе приведены параметры и

фотографии некоторых современных систем, а также полученные с ними записи. Авторами также отмечено, что первые 10 образцов нодов были изготовлены и опробованы в Канаде.

Другая альтернатива развития технологии наземных работ рассмотрена в [7]. В ней дано краткое теоретическое обоснование и приведены практические результаты, обосновывающие возможность использования распределенных оптико-волоконных систем для одновременного освещения изучаемого объекта по глубоким и мелким отражающим горизонтам. Эта возможность следует из того, что оптический луч, распространяясь по кабелю, инициирует отраженные и рассеянные волны, некоторые из которых могут быть связаны с приходом отраженных волн от границ раздела в среде. Поэтому выбирая параметры луча и время можно выделять волны, соответствующие мелким и глубоким границам раздела. В обоснование возможностей DAS в докладе приведены результаты модельных исследований по трассированию отраженных волн от физических границ раздела и результаты полевых работ, показывающие возможность прослеживания волн от мелких и глубоких отражающих горизонтов. В заключении авторы отмечают, что технология DAS может рассматриваться как новая парадигма наземной сейсморазведки.

Пример успешного применения Р и S волн приведен в работе [8], в которой изложены результаты сейсморазведочных наблюдений на неглубоком газовом месторождении, особенностью которых было совместное применение продольных и поперечных волн для освещения глубинного строения объекта. Газовое месторождение на площади Sanhu приурочено к неглубоко залегающей, слабо выраженной антиклинальной структуре поиски и разведка которой осложняется низким качеством записей продольных волн из-за их поглощения при прохождении через газовую залежь. Учитывая специфические условия этого района, была предложена и успешно реализована технология полевых работ, которая предусматривала:

1. Проведение работ на Р- и S-волнах с применением мощных низкочастотных широкополосных вибраторов продольных волн для освещения глубинного строения разреза и вибраторов поперечных волн для выделения и обнаружения контуров малоамплитудных поднятий.
2. Применение плотных систем наблюдений с небольшими расстояниями между пунктами и линиями возбуждения и приема колебаний, обеспечивающих получение приемлемых отношений сигнал/помеха.
3. Коррекцию статических поправок по S-волнам для повышения качества суммируемых записей. В докладе приведены краткое описание технологии работ и примеры, иллюстрирующие ее эффективность по выделению контуров газосодержащих пород и рельефу структур (рис. 3).

Новые технические средства наземной сейсморазведки

Это направление представлено работами по применению малых летательных аппаратов (дронов), широкополосному молекулярному приемнику колебаний и использованию распределенных систем DAS в наземной сейсморазведке.

Работа [9] основана на экспериментальных материалах по использованию дронов в сейсморазведке для транспортировки и установки нодальных беспроводных регистрирующих систем в труднодоступных районах. С этой целью был разработан и изготовлен дрон соответствующей грузоподъемности. Опробование его показало, что на перемещение нодальной системы приблизительно на 1 км расходуется менее 10 минут, включая приемление и замену батарей, что позволяет уменьшить время подготовительных работ. Перед значительными по объему работами в пустынных районах Омана дрон успешно прошел испытания в Голландии. В [9] приведены краткие сведения по конструкции дрона, его фотография с присоединенными приемными устройствами (рис. 4). В заключении отмечается,

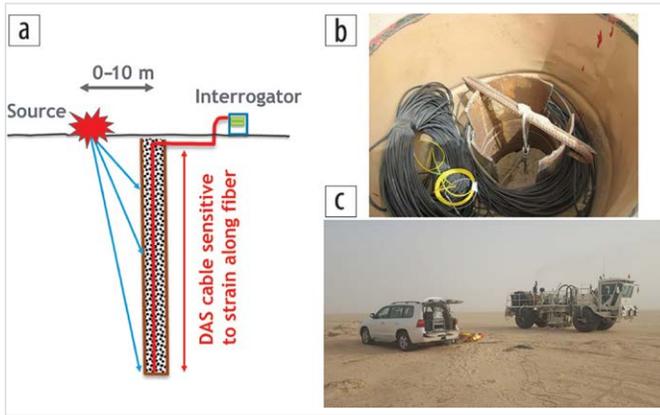


Рис. 5 — Полевая система DAS для малоглубинных исследований:
Fig. 5 — Smart DAS uphole system

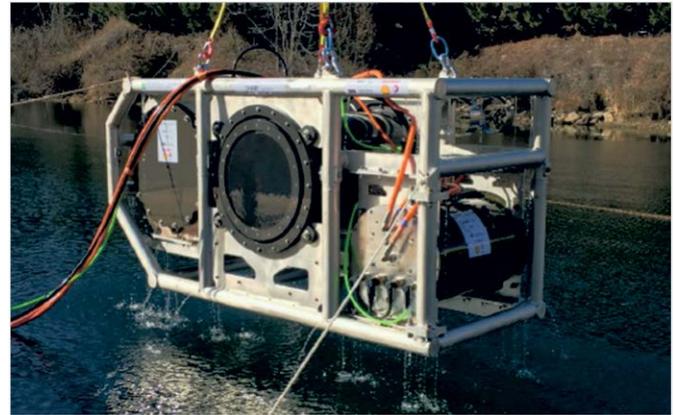


Рис. 6 — Морской вибратор со снятым кожухом
Fig. 6 — Image of marine vibrator

что авиационная мини-техника расширяет перспективы проведения сейсморазведочных работ в труднодоступных районах.

В [10] приведены краткое описание конструкции и параметры молекулярно-электронного преобразователя, предназначенного для приема волн в сейсморазведке. Действие гидрофона основано на том, что при изменении давления в электролите образуется поток электронов, который приводит к образованию ЭДС, регистрируемого как выходное напряжение прибора. Тестирование показало, что чувствительность прибора равна 0,8 мВ/Па, и он обеспечивает прием волн в широкой полосе частот 0,02–200 Гц с искажениями до 3 дБ. Перспективы широкого применения гидрофона МЕТ авторы связывают с относительной простотой преобразователя и его невысокой стоимостью.

В [11] обосновывается возможность использования оптико-волоконной техники для одновременного определения распределения скоростей в верхней части разреза и освещенные строения разреза по глубоким горизонтам разреза. Основным элементом системы является серия неглубоких скважин с помещенным в них оптико-волоконным кабелем, подсоединенным к блоку регистрации и анализа волн. Вся система может быть стационарной или мобильной, способной перемещаться по местности. Расстояния между скважинами и их глубина определяются задачами работ, глубиной и детальностью исследований. Для получения записей волн достаточно одинарного возбуждения колебания и их регистрации с последующей обработкой записей с желаемой детальностью. Основные компоненты системы и схема проведения работ показаны на рис. 5.

В докладе приведены краткое описание технологии полевых наблюдений и полевых материалов, иллюстрирующие возможности ее применения для определения распределения скоростей в верхней части разреза. Авторы отмечают преимущества приемных систем DAS по сравнению со стандартными приемными устройствами и перспективность их применения в сейсморазведке.

Вибрационное возбуждение колебаний в морской сейсморазведке

Одним из неординарных направлений современной сейсморазведки стало возвращение к вибрационному возбуждению колебаний в море. Первые работы в этом направлении относятся к середине семидесятых годов прошлого столетия, когда одной американской фирмой были разработаны и изготовлены первые образцы морских вибраторов. Их основой была помещаемая в воду гибкая диафрагма, которая под действием внешних сил создавала переменное по частоте избыточное давление в воде, которое передавалось среде и приводило к возбуждению в нем волнового поля. Однако в силу разных причин это направление развития не получило. Одной из них было успешное применение пневматических излучателей. В настоящее время положение изменилось из-за запрета в ряде районов использования пневмопушек, которое приводит к гибели морских животных. Это, по аналогии с наземной сейсморазведкой, и послужило основанием для возобновления работ по созданию промышленного морского вибратора. Работы в этом направлении ведутся несколькими фирмами, и они получили освещение в материалах конференций 2018 г.

В [12] обсуждается критерий выбора величины силового параметра морского вибратора, суть которого заключается в том, что, по мнению авторов, усиления, развиваемые излучателем должны быть не максимально возможными, а достаточными для выделения целевых волн, что открывает перспективы практического применения относительно маломощных морских вибраторов. Для получения необходимых данных предложен эксперимент, предусматривающий регистрацию волн с работающим вибратором и без него, что позволит получить оценки фактических и достаточных отношений сигнал/помеха в различных частотных диапазонах. Авторы полагают, что, основываясь на этих данных, можно оптимизировать частотный диапазон излучаемых колебаний.

В [13] приведено краткое описание конструкции морского электромагнитного вибратора, разработанного по «Объединенному индустриальному проекту». Вибратор состоит из трех основных элементов (электромагнитный излучатель, система контроля и силовой блок), которые помещены в защитную раму, буксируемую судном (рис. 6). Вибратор рассчитан на излучение 5-ти секундных свипов с частотами 5–10 Гц (190 дБ) и 10–100 Гц (200 дБ) при уровне гармоник не более 40 дБ. Назначенный моторесурс вибратора равен 72 часам непрерывной работы и 720 часам до капитального ремонта. Тестирование вибратора показало его работоспособность и полученные результаты изложены в [14]. Были опробованы импульсные (пневмопушка), стандартные (ЛЧМ) и кодированные сигналы. Отмечено, что применение кодированных, разнесенных по частотам (5–25 Гц и 25–100 Гц) и длительности свипов, позволяет несколько более уверенно выделять и проследить волны от глубоких и мелких отражающих горизонтов. На рис. 7 приведены фрагменты временных разрезов, полученных при возбуждении колебаний пневмопушкой и морским вибратором. Сравнение их позволяет говорить об их практической идентичности, но с некоторым превосходством разреза, полученного с пневмопушкой.

В заключении авторы отмечают перспективность одновременного возбуждения нескольких кодированных сигналов при использовании морских вибраторов.

Итоги

Применение современных технологий наземной сейсморазведки, ее новых технических средств и оборудования повышает эффективность метода при проведении работ в сложных сейсмогеологических условиях и при низких исходных отношениях сигнал/помеха.

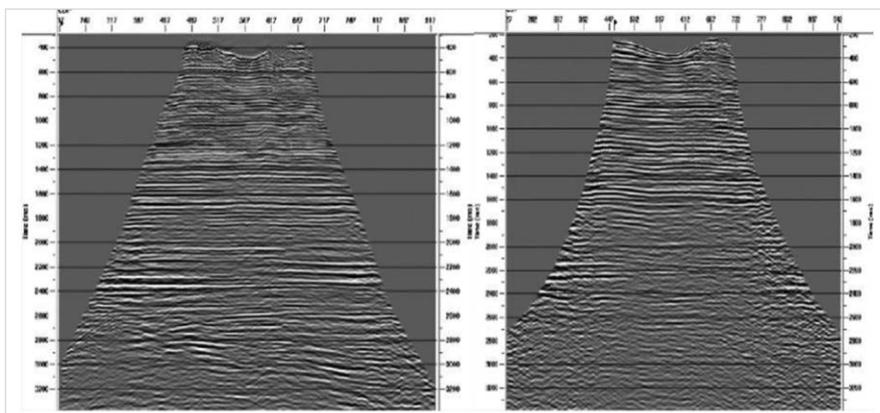


Рис. 7 — Фрагменты временного разреза, полученные с пневмопушкой (слева) и морским вибратором (справа)
Fig. 7 — Stacked sections using an air gun array (left) and marine vibrator sweep (right)

Результаты работ по морскому вибратору открывают перспективы их практического применения в морской сейсморазведке.

Выводы

Обзор публикаций по полевым методам наземной сейсморазведки и работам по морскому вибратору показал следующее:

- проведение работ по новым технологическим схемам в сложных районах и при низких исходных отношениях сигнал/помеха позволяет получить качественные материалы;
- эффективность нового сейсмического оборудования;
- положительные результаты работ по разработке и тестированию морского вибратора

Литература

1. М.Б. Шнеерсон. Современные полевые технологии наземной сейсморазведки // Экспозиция Нефть Газ. 2019. №4. С.39–42.
2. J. Guan, X. Shang, Y. Gu, P. Sun. Land Piezoelectric Single Point High Density Seismic Technology. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
3. B. Pagliccia, K. Dalton, C. Walker, K. Elder, R. Jenneskens. METIS Hits the Ground in Papua New Guinea, a Field-Proof Innovative Method

to Revolutionize Onshore Seismic Acquisition. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.

4. P. Xiao, Z. Xiuli, X. Jianjun, S. Weimin. Low frequency seismic survey: Improving the image of low SNR Carboniferous, Junggar Basin. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
5. C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, T. Manning, J. Naranjo, D. Abylazina, V. Zhuzhel, E. Holst. V. Husom. 3D field trial using a new nimble node - West Siberia, Russia. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
6. T. Manning, C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, M. Popham, D. Abylazina, V. Zhuzhel, E. Holst, N. Goujon. The case for a nimble node, towards a new land seismic receiver system with unlimited channels. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
7. A. Bakulin, I. Silvestrov, R. Pevzner. Surface seismic with DAS: looking deep and shallow at the same time. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
8. Y. Wu, Z. He, J. He, Z. Deng, Y. Wang, W. Yin. P-wave and S-wave Joint Acquisition Technology and Its Application in Sanhu Area. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
9. P. Franken, J.W. Levell, A.F. Clow, B. van

Duijn, P. Franken, X. Campman. Drones for Deploying Seismic Nodes: For Those Hard to Reach Places. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.

10. D. Zaitsev, V. Agafonov, E. Egorov, S. Avdyukhina. Broadband MET Hydrophone. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
11. A. Bakulin, P. Golikov, R. Smith, K. Erickson, I. Silvestrov, M. Al-Ali. Smart DAS uphole acquisition system for near surface characterization and imaging. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
12. R. Laws, J. Hopperstad, E. Kragh, D. Halliday. How Can We Emit Enough Energy from a Marine Seismic Vibrator? 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
13. A. Feltham, M. Jenkerson, N. Henderson, M. Girardat Seneca Lake A. Feltham, M. Jenkerson, N. Henderson, M. Girard, V. Nechayuk, A. Cozzens. Geophysical Testing of a Marine Vibrator Integrated Projector Node (MV-IPN) at Seneca Lake. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
14. R. Tenganhn, A. Long, C. Strand, M. Beitz. Improved operational efficiency using spread spectrum sweeps for marine vibrators. 88th Annual International meeting SEG, 2018.

ENGLISH

GEOPHYSICS

UDC 550.3

Field methods of land seismic prospecting and marine vibrator

Author

Mikhail B. Shneerson – Sc.D., professor; shneer@bk.ru

RSGGY, Moscow, Russian Federation

Abstract

In article are described some examples of high effectiveness of modern land acquisition, of new field technique and constructing and testing of new marine vibrator

Materials and methods

Description of new onshore seismic methods and apparatus, their application, that ensure to receive good materials; description results

of constructing and testing marine vibrator.

Keywords

onshore seismic acquisition, marine vibrator, node, dron system, P and S waves, DAS receiving system, fold.

Results

New onshore shooting systems lighten to leading modern land seismic systems, raise

productivity, help to suppression some kind of seismic noise and orient in the direction of modern field systems. The new land seismic technologies, apparatus and marine vibrator are described in the article.

Conclusions

Review of publications about new onshore seismic technologies scheme revealed next points, advantage new onshore acquisitions, technique and vibrator for marine prospecting.

References

1. M.B. Shneerson. Modern onshore seismic acquisition. Exposition Oil Gas, 2019, issue 4, pp. 39–42.
2. J. Guan, X. Shang, Y. Gu, P. Sun. Land Piezoelectric Single Point High Density Seismic Technology. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
3. B. Pagliccia, K. Dalton, C. Walker, K. Elder, R. Jenneskens. METIS Hits the Ground in Papua New Guinea, a Field-Proof Innovative Method to Revolutionize Onshore Seismic Acquisition. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
4. P. Xiao, Z. Xiuli, X. Jianjun, S. Weimin. Low frequency seismic survey: Improving the image of low SNR Carboniferous, Junggar Basin. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
5. C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, T. Manning, J. Naranjo, D. Abylazina, V. Zhuzhel, E. Holst. V. Husom. 3D field trial using a new nimble node - West Siberia, Russia. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
6. T. Manning, C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, M. Popham, D. Abylazina, V. Zhuzhel, E. Holst, N. Goujon. The case for a nimble node, towards a new land seismic receiver system with unlimited channels. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
7. A. Bakulin, I. Silvestrov, R. Pevzner. Surface seismic with DAS: looking deep and shallow at the same time. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
8. Y. Wu, Z. He, J. He, Z. Deng, Y. Wang, W. Yin. P-wave and S-wave Joint Acquisition Technology and Its Application in Sanhu Area. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
9. P. Franken, J.W. Levell, A.F. Clow, B. van Duijn, P. Franken, X. Campman. Drones for Deploying Seismic Nodes: For Those Hard to Reach Places. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
10. D. Zaitsev, V. Agafonov, E. Egorov, S. Avdyukhina. Broadband MET Hydrophone. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
11. A. Bakulin, P. Golikov, R. Smith, K. Erickson, I. Silvestrov, M. Al-Ali. Smart DAS uphole acquisition system for near surface characterization and imaging. 88th Annual International meeting SEG, 2018.
12. R. Laws, J. Hopperstad, E. Kragh, D. Halliday. How Can We Emit Enough Energy from a Marine Seismic Vibrator? 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
13. A. Feltham, M. Jenkerson, N. Henderson, M. Girardat Seneca Lake A. Feltham, M. Jenkerson, N. Henderson, M. Girard, V. Nechayuk, A. Cozzens. Geophysical Testing of a Marine Vibrator Integrated Projector Node (MV-IPN) at Seneca Lake. 80th EAGE Conference and exhibition, 2018.
14. R. Tenganhn, A. Long, C. Strand, M. Beitz. Improved operational efficiency using spread spectrum sweeps for marine vibrators. 88th Annual International meeting SEG, 2018.