

Новые достижения в технологии наземных сейсморазведочных работ (по материалам рабочего совещания SEG, 5 – 7 ноября, Muskat, Oman)

■ Жуков А.П., Шнеерсон М.Б.

Очередное рабочее совещание SEG Workshop 2019 прошло в ноябре 2019 г в Омане под девизом «Новые достижения в технологии наземных сейсморазведочных работ» (New Advances in Land Geophysical Acquisition Technologies). В работе совещания приняли участие представители геофизических компаний, работающих на Аравийском полуострове и прилегающих к нему районах. Методические и отчасти геологические результаты проведенных и проводимых сейсмических исследований отражены в представленных на совещание 55 докладах, знакомство с содержанием которых позволяет получить представление о технико-методическом уровне работ и направлениях их развития, что определили интерес к материалам совещания и послужило основанием для составления настоящего обзора.

По своему содержанию доклады могут быть подразделены на следующие три группы:

- планирование съемок;
- технология полевых работ и направления ее развития;
- автоматизация полевых работ и перспективы ее практического использования.

1. Планирование и автоматизация планирования съемок

Идеальная сейсмическая съемка предусматривает равномерное распределение по площади работ ее основных параметров (вынос, азимут, кратность и др.). Однако географические, топологические и другие факторы практически всегда исключают возможность приме-

нения регулярных систем и делают необходимым переход на деформированные, как правило, более сложные нерегулярные системы. Это положение нашло отражение в представленных на совещании докладах.

Так, например в [1] приведены результаты автоматической реорганизации исходной регулярной сети, позволившей учесть особенности местности и получить квази-равномерное распределение параметров съемки с расстояниями между линиями ПВ 75 м. и точками ПВ 25 м. В [2] отмечается, что стандартные сейсмические партии не отвечают современным требованиям по производительности и стоимости работ. Им соответствуют многоканальные партии, способные работать с большим (до 50) числом вибраторов и приемных каналов (порядка 50 000) и реализовывать системы наблюдений с расстояниями между линиями и пунктами возбуждения и приема колебаний, соответственно, 100 и 25 м для обеспечения высокой пространственной разрешенности записей, с большими активными расстановками сейсмоприемников (до 25 000 приемных каналов), сверхвысокой (до 2 400) кратностью и выносами до 6 000 м. Критерием оптимальности может служить положение о том, что расстояния между пунктами возбуждения (ПВ) и приема (ПП) должны быть меньше, чем половина минимальной длины волны (волны с наибольшей кажущейся скоростью) [3]. На практике это условие не всегда выполняется, и расстояния между ПВ и ПП выбирают больше оптимальных. При проектирова-

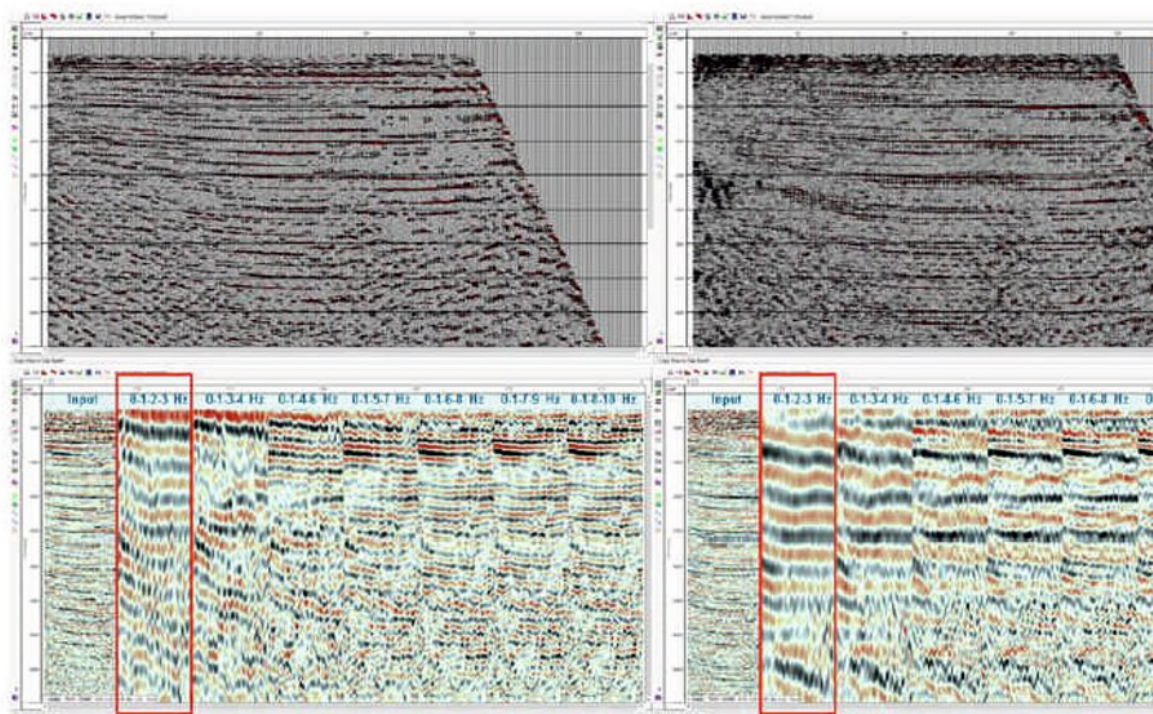
нии систем наблюдений можно пользоваться двумя критериями оптимальности, которые предусматривают: задание плотности наблюдений, которая позволяет получить наилучшее качество изображений или задание требуемого качества изображений, которое при минимальной стоимости геометрии позволит получить материалы, удовлетворяющие критериям качества полевых материалов. Оценка оптимальности методики полевых работ в наземной сейсморазведке может также основываться на минимизация времени, требуемого «К» продавцам для посещения «М» объектов. При этом вибраторы рассматриваются, как продавцы, а пункты возбуждения как объекты. Разработанная авторами программа TSP позволяет оптимизировать перемещения вибраторов, и она опробована в предположении возбуждения колебаний 8 вибраторами на площади с 20 пунктами возбуждения (ПВ).

2. Технология полевых работ и направления ее развития

Технологические схемы проведения полевых работ наземной сейсморазведки освещены в серии докладов, и они, во многом, определяются используемыми техническими средствами. Очевиден переход на применение широкополосных, плотных и сверхплотных съемок с использованием современных средств возбуждения, приема и регистрации сейсмических колебаний.

До последнего времени в сейсморазведке 3D и 4D наибольшее применение имели кабельные системы передачи данных от сейсмоприемников на сеймостанцию [4]. Они позволяют получать материалы в реальном масштабе времени, контролировать их качество, но обладают определенными недостатками, затрудняющими производство работ и снижающими их производительность. Стремление преодолеть эти ограничения

▼ Рис. 1. Фрагменты временных разрезов и трасс в узком диапазоне частот, полученные со стандартным (слева) и модернизированным вибраторами (справа).

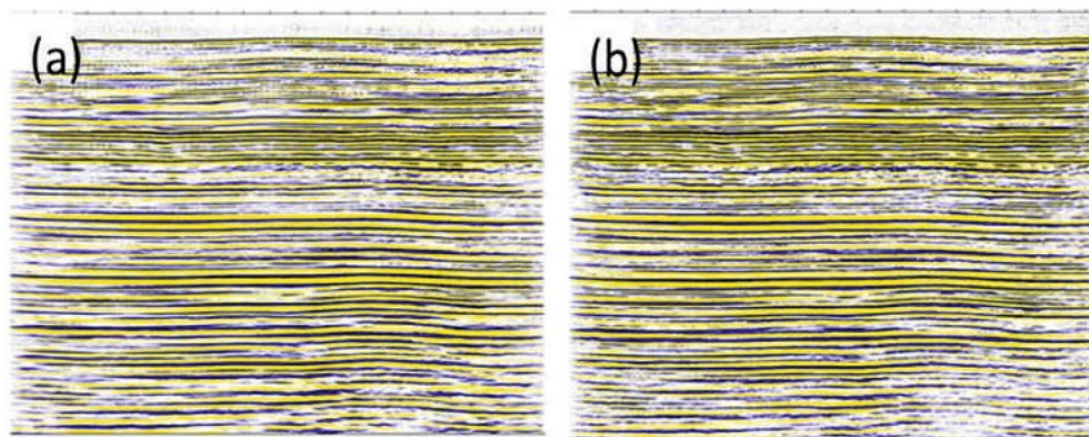


привели к появлению бескабельных систем, позволяющих упростить размещение приемных устройств на местности и повысить производительность работ, что в ряде случаев является решающим при выборе оборудования. С повышением качества оборудования применение получили «слепые системы», исключающие текущий контроль качества регистрируемых записей, но позволяющие существенно снизить затраты времени на прием и регистрацию полевых записей. Тем не менее, полный переход на слепые системы пока не очевиден. Развитие приемных систем в наземной сейсморазведке авторы связывают со снижением численности сейсмопартий, автоматизацией стандартных рабочих процедур, увеличением памяти и повышением плотности наблюдений.

В [5] на примере материалов, полученных с модернизированным, низкочастотным вибратором, (рабочий диапазон от 1,5 – 2 Гц) показаны возможность и эффективность широкополосного возбуждения колебаний. На рис. 1 приведены фрагменты временных разрезов, полученных со стандартным и низкочастотным вибратором, наглядно иллюстрирующие эффективность нового вибратора. Следует однако отметить, что переход на эффективное возбуждение низких частот потребовал модернизацию вибратора и системы его управления и контроля, направленной на снижение уровня гармоник

Фирма PDO предложила новую технологию полевых работ, названную «ультра-высокая производительность работ» (UNP). В 2017 г эта технология была применена в кабельном варианте «время – расстояние» PDO [6], которая предусматривала независимую работу мульти-групп вибраторов. Для управле-

ния системой (UNP) была разработана дополнительная цифровая система, обеспечивающая контроль в режиме реального времени и высокую скорость передачи данных. В [7] обосновывается идея уплотнения систем наблюдений и переход на системы 5 x 5 м с одиночными приемными и излучающими устройствами. В [8] приведен пример успешной, независимой, несинхронной работы группы из 24 вибраторов. При этом одна подгруппа из 12 вибраторов генерировала «удлиненный по низким частотам» dwell sweep полосой 1,5 – 12 Гц, а другая подгруппа также из 12 вибраторов – свип 6 – 96 Гц. В обоих случаях длина свипа была 12 с. Максимальная достигнутая производительность работ составила 65000 ПВ за 24 часа, что в три раза больше стандартной. На рис. 2 приведены фрагменты двух временных разрезов, полученных по стандартной и новой технологии полевых работ. Продолжается переход на применение нодальных систем. Так опыт работ фирмы PDO [9] показал, что использование нодальных систем позволяет повысить производительность работ на 30 % за счет увеличения дневного времени работ и лучшей их организации. В будущем ожидается переход на «ультра-высокую производительность полевых работ» (UNP) по децентрализованной системе наблюдений с трехкратным увеличением плотности трасс и кратности с гибкой приемной системой и полным азимутальным освещением площади. Рис. 3 наглядно иллюстрирует рост производительности полевых работ при использовании новых технических средств. Заслуживает внимания доклад [10], посвященный результатам работ на Р и S волнах на малоамплитудной газовой залежи, перекрытой газо-содержащими отложениями. Одна-



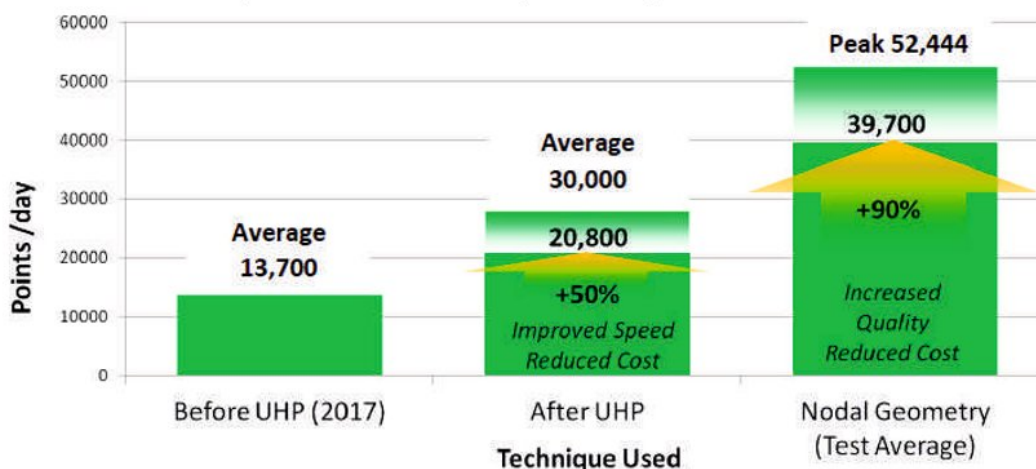
▲ Рис. 2. Сравнение стандартных (a) и разделенных (b) данных.

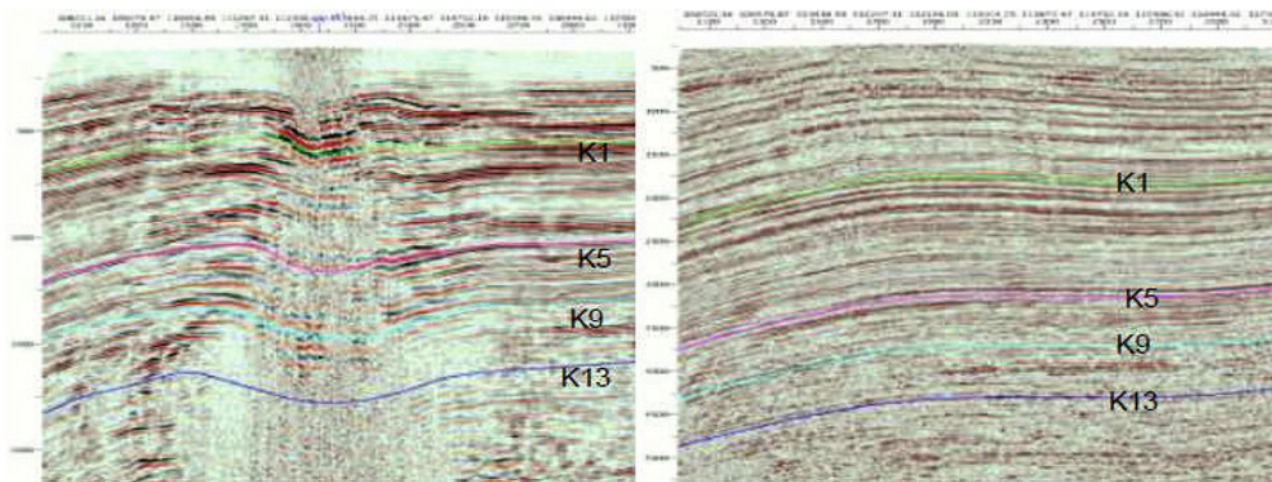
ко, при использовании поперечных волн возникают определенные проблемы, связанные с необходимостью обеспечения устойчивой регистрации поперечных волн SH–SH и определением статических поправок на этих волнах. Успешный пример использования поперечных волн приведен на рис. 4. Определенные сложности применения тяжелых вибрационных источников в пустыне послужили основанием для использования более простых импульсных источников [11]. Так фирма PJPSL (Precision impulse production seismic limited) разработала портативный импульсный источник для работы на твердых грунтах (рис.5). В апреле 2019 компания работала с PDO для оценки применимости и эффективности этой

системы на площади 25 x 10 км. Кроме того, этот источник успешно использовался при мониторинге скважины на одном из месторождений в Омане. В докладе отмечается, что источник прост и легко управляем.

Нефтяные поля Западной Канады приурочены к районам с неблагоприятными оро-гидрофизическими условиями, ограничивающими применение стандартных вибрационных источников. В этих районах оказалось эффективными высоко-плотные системы наблюдений с возбуждением группами относительно маломощных, малогабаритных импульсных так называемых PintPoint (булавочно-точечных) источников колебаний. В [12] приведены краткое описание этих

▼ Рис. 3. Рост дневной производительности работ с применением UHP и нодальных систем.





▲ Рис. 4. Сравнение материалов, полученных на продольных P-P и поперечных S-S волнах.

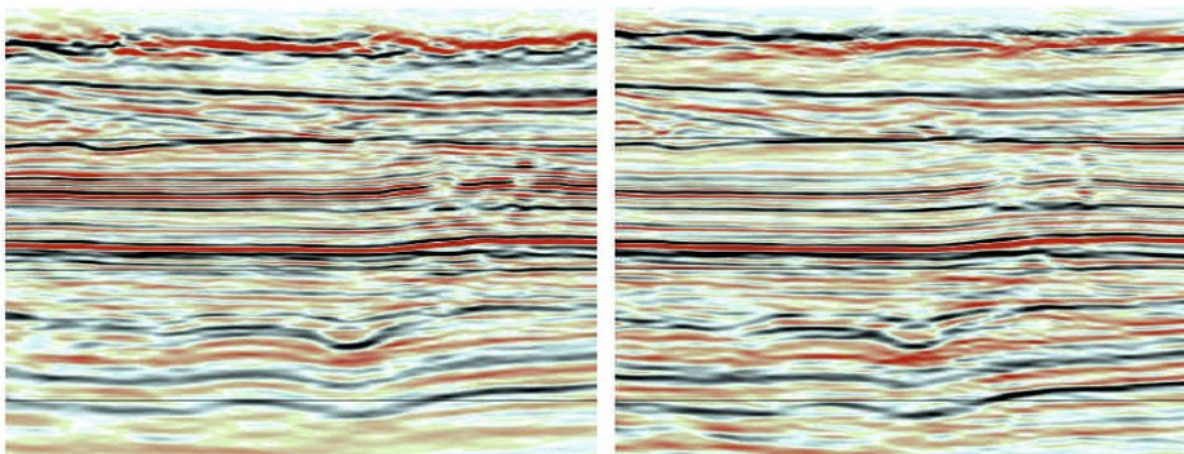


▲ Рис. 5. Портативный импульсный источник.

работ и пример, иллюстрирующий высокое качество получаемых временных разрезов и даже их некоторое преимущество по сравнению с материалами вибрационной сейсморазведки (Рис. 6)

Практика последних лет показывает, что увеличение плотности наблюдений (трасс) приводит к реальному повышению качества получаемых материалов и изображений [13]. Появление новых нодальных приемных систем сделало возможным переход на ультра-плотные системы наблюдений (UHD с числом трасс более 100 млн/км², и это направ-

▼ Рис. 6. Временные разрезы, полученные с вибратором (слева) и булавочно-точечным (PinPoint) источником (справа).



ление в сочетании с ростом числа одновременно работающих источников колебаний и возможным применением многокомпонентных систем будет развиваться. Фирма ВР предложила последовательность процедур, ориентированных на повышение эффективности применения ультра-плотных съемок. Она предусматривает: на стадии проектирования - создание модели съемки и тестирование возможных вариантов отработки площади и используемого оборудования; во время полевых работ – контроль качества материалов и его текущая обработка на ВЦ. По мнению фирмы в будущем можно ожидать увеличение плотности наблюдений до 1 триллиона трасс на км².

3. Автоматизация полевых работ и перспективы ее практического применения

При полевых работах в сложных поверхностных условиях определенные трудности возникают с их проведением, размещением оборудования и его перемещением на местности. Так например в пустынных условиях осложнения возникают из-за песчаных бурь, больших перепадах температур и «ураганных помех», которые ведут к существенному снижению производительности работ. Одним из путей решения этой проблемы является автоматизация и роботизация полевых работ. Эти вопросы нашли отражение в докладах сделанных на совещании. В [14] предлагается автоматизировать работы по размещению сейсмического оборудования по площади и перейти на использование систем с повышенной защищенностью от помех. Авторы отмечают, что автоматизация производства является основой повыше-

ния производительности работ, имеющего важное значение в современной сейсморазведке при использовании высокоплотных систем наблюдений. Первый шаг в этом направлении рассмотрен в [15]. Показано, что действие вибратора может быть подразделено на четыре стадии: поднятие плиты, переезд на следующий ПВ, опускание плиты и возбуждение колебаний. Часть из этих операций уже автоматизированы, и можно ожидать быстрого завершения работ по полной автоматизации работы вибратора, включая заезд на пункт возбуждения. Результаты первых экспериментов по беспилотному управлению вибраторами показали, что оно позволило повысить точность их позиционирования и на 23% уменьшить время на переезды. В [16] рассмотрен один из возможных путей полной автоматизации наземных сейсморазведочных работ. Он предусматривает размещение на площади съемки «коверной» расстановки приемных устройств, возбуждение колебаний заданным числом беспилотных автономных механических установок и регистрацию колебаний с последовательной передачей записей на ВЦ.

Литература

1. Automated real-time path planning for land seismic survey field design (Автоматическое в реальном времени планирование наземных сейсмических съемок М. Caporal, G. Blacquièrre, C. Tsingas).
2. Land seismic survey design for High Channel Counts crews (Проектирование наземной съемки для многоканальных партий, N. K. Yazami, Van C. Do).

3. Optimum seismic acquisition design (Оптимальное проектирование сейсмических съемок G. Blacquire, S. Nakayama).

4. What do we expect from a Land Acquisition System? (Что мы ожидаем от наземной сейсморазведки? S.Valla, D. Boucard, N. Tellier).

5. New Advances in Vibroseis Source Technology (Новые достижения в технологии вибрационной сейсморазведки Z. Wei, J. Criss).

6. High Productivity Acquisition and Deblending (Высокая производительность и разделение Z. Mugang1, i. Peiming1, . Y. Charles, Q. Zhongping1, W. Wenchuang).

7. Where are the reflections hiding in single-sensor land data? (Где находятся отражения в одноканальных наземных данных A.Bakulin, I. Silvestrov, D. Neklyudov)

8. Dispersed Source Array: A novel broadband acquisition methodology (Распределенная расстановка источников: новая широкополосная методология работ C. Tsingas, M.S. Mubarak, A. AlShuhail).

9. Blended Acquisition Potential Unlocked With Nodal Systems (Смешанная технология с нодальными системами M. Al Hosni, Y. E. Taha, F. Clow).

10. P-wave and S-wave joint seismic exploration (С мешанная сейсморазведка на Р и волнах Z., Deng Z. Zhang, D. lieqian, W. Yongguo).

11. Highly Portable Impulsive Source to Open New Areas for Exploration and Optimise Development and Production, (Малогабаритный импульсный источник для открытых новых участков, для разведки, развития и добычи W. Davie, M. Al Hosni, F. Clow).

12. PinPoint: nimble source technology for high density seismic data acquisition with near-zero environmental impact,

(Булавочно-точечная (PinPoint) гибкая технология работ для получения высокоплотных данных при близко к нулевому воздействию на среду Châtenay, P. Thacker).

13. Impact, opportunities and challenges of a new generation of Ultra-High Density seismic (Новая ультра-высоко-плотных сейсмических систем A. Ourabah, A. Châtenay, P. Thacker).

14. Adaptive Real-Time Path Planning of Seismic Sources (Адаптивное планирование работ источников A.Bader1, Mohamed).

15. A significant step toward source automation with Vibrator Auto-Guidance (Значительный шаг в сторону автоматизации вибраторов с авто-управлении A.Maugè, G. Ollivrin, P.Sicot, N.Tellier, H. Al Zayer)

16. METIS: Automating land seismic with unmanned vehicles and real-time wireless recording (Metis: автоматизированный наземный сейсморазведочный комплекс с беспилотными передвигающимися механизмами и бескабельной регистрацией волн T.J. Browaeys), B. Pagliccia, F. Adler, J. Archer, K. Elder).