# Основные направления развития технологии полевых работ наземной сейсморазведки

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10065

#### М.Б. Шнеерсон д.т.н. профессор

shneer@bk.ru

РГУ нефти и газа (НПУ) им. И.М. Губкина, Москва, Россия

В статье использованы материалы ежегодной конференции SEG-2019. состоявшейся в октябре 2019 г. в Сан-Антонио (США), отражающие современный **VDOBEHЬ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛЕВЫХ** наземных сейсморазведочных работ и возможные направления их развитии.

# Материалы и методы

Приведены описания двух полевых наземных съемок, содержания текущих опытных и перспективных исследований, а также полученные в процессе их проведения результаты.

# Ключевые слова

наземная сейсморазведка, системы наблюдений, технология полевых работ, нелинейные искажения, вибратор. приемные цифровые системы

ные и сейсморазведочные работы по нефти и газу проводятся, как правило, в районах со сложными сейсмогеологическими и поверхностными условиями при низких исходных отношениях сигнал/помеха, что приводит к необходимости применения сложных, избыточных систем наблюдений и проведения перманентных опытно-методических наблюдений по совершенствованию, оптимизации и развитию технологии полевых работ для повышения их эффективности.

В настоящее время поисково-разведоч-

Освещению этих вопросов и посвящена настоящая статья, в которой:

- приведены результаты высокоточной и масштабной съемок 3D выполненных по плотным системам наблюдений с применением современной технологии работ, позволивших существенно повысить качество материалов:
- показана возможность повышения произприменения кодированных сигналов:

— рассмотрены перспективы применения многокомпонентных (9С) 3D данных, полученных со стандартными и одновременно работаюшими несколькими источниками колебаний.

VЛК 550.3

- предложен и успешно опробован способ повышение уровня возбуждаемых колебаний за счет улучшения контакта плиты вибратора со средой;
- проанализированы перспективы применения акселерометров при приеме колебаний в наземной сейсморазведке:
- предложен способ снижения уровня нелинейные искажения вибрационных сигналов и рассмотрены особенности технологии работ с 200 000 цифровыми приемными системами.

# Высокоточная съемка 3D (пример по сложной структуре на плошади Keshen)

Основанием для проведения повторных водительности полевых работ на основе работ на этой площади послужили отрицательные результаты предыдущих съемок 3D,



Рис. 1 — Фрагменты временного разреза, полученные по старой (справа) и новой (слева) технологиям *Fig.* 1 – *Time section fragments obtained by the old (right) and new (left) technologies* 



Рис. 2 — Сейсмические записи, полученные по стандартной (справа) и предлагаемой (слева) технологиям

Fig. 2 -Seismic records obtained by standard (right) and proposed (left) technologies

выполненных по станлартной технологии. Низкое отношение сигнал/помеха на исходных записях было обусловлено сложными глубинными условиями, наличием крутопадающих отложений в верхней части разреза и некоторыми другими причинами. Для преодоления этих затруднений было предложено повысить плотность наблюдений до 1.8-3.6 млн трасс/ км<sup>2</sup>, уменьшить расстояния между линиями приема и возбуждения до 120 м, использовать бин размером 15х30 м и при работах с вибраторами применить расширенный в сторону низких частот (1,5-84 Гц) свип длительностью 16 с. Кроме того, на участках с повышенным наклоном мелко залегающих отложений отказаться от группирования приборов в поле. Эти изменения технологии полевых работ оказались достаточно эффективными, они привели к существенному повышению качества материалов и возможности прослеживания целевых границ разреза [1]. На рис. 1 изображены фраг-



Рис. 3 — Фрагменты временных разрезов по Р (1, 2) и S (3, 4) волнам, полученные по стандартной и модернизированной технологиям Fig. 3 – Time sections fragments along the P(1, 2) and S(3, 4) waves obtained by standard and modernized technologies

Масштабные совместные наземные и морские работы в северо-запалном районе Эмиратов

менты временных разрезов, полученных по

старой (справа) и новой (слева) технологиям.

В 2017 г. национальная нефтяная компания Abu Dhabi (ADNOC) решила провести современные сейсмические работы во внутренних морских и сухопутных районах Эмиратов в объеме 90000 км<sup>2</sup> [2]. Наземная съемка предусматривает отработку ортогональной систе- С этой целью авторами были рассмотрены и мы наблюдений, состояшей из 62 приемных линий с 200 м интервалом между ними и 496 трассами на каждой из них: и соответствующего числа линий возбуждений (шаг 100 м между линиями и 25 м между пунктами возбуждения).

Отработка системы проводилась по одноточечной технологии с кратностью 1922, бином 12,5х12,5 м и максимальным выносом 6200 м. На особо сложных участках применялась си- эксперименте было задействовано 10 продольстема с кратностью 1844 и бином 6,25х6,25 м для получения качественных, более разрешенных полевых записей. Возбуждение колебаний проводилось 30 одновременно работающими разнесенными на 8 км одиночными вибраторами, генерирующими низкочастотный свил полосой 1,5-120 Гц с повышенным временем излучения в полосе част от 1,5-5 Гц. Для при-колебаний на ортогональных и линейных линиема и регистрации колебаний использова- ях. Сравнение временных затрат на производлась система Sercel 428, а для возбуждения ство наблюдений показало, что работы по спо- 1. Сигналы ускорения позволяют лучше от-— вибраторы Nomand 90. Материалы предва- собу fare at will позволяют в отведенное время рительной обработки позволяют рассчитывать на успешное решение поставленных задач.

#### Одновременные работы в Западном Texace

Для уменьшения времени на отработку профилей авторами было предложено для вибрационного возбуждения колебаний использовать кодированные, каскадные, разделенные на сегменты сигналы, позволяющие одновременно работать с несколькими (чаше всего четырьмя) вибраторами, но со сдвинутыми фазами излучаемых колебаний, что делает возможным при обработке разделять полученные записи. Способ был модернизирован путем исключения времени слушания между сегментами. При работах был использованы свипы полосой 2-90 Гц и длительностью 20,5 с при времени слушания 5 с. Эксперимент оказался удачным, что следует из практической идентичности стандартных и разделенных записей (рис. 2), что делает перспективным



нологии полевых наблюдений [3].

# Сравнение многокомпонентных (9С) 3D данных, полученных по стандартной и одновременной технологиям

Интерес к этой работе [4] обусловлен обрашением к чисто поперечным волнам и желанием довести их до практического применения проанализированы материалы по 5 многокомпонентным съемкам с возбуждением и регистрацией Р- и S-волн на площади 6 кв. миль в пределах Пермского бассейна Западного Техаса. Полевые наблюдения были проведены по стандартной технологии и технологии «генерирую, когда хочу» (faw fare at will) и flip/flop для повышения производительности работ. В ных и 8 поперечных вибраторов. Продольные волны возбуждались свипами полосой 2-110 Гц и длительностью 16 с, а поперечные — частотой 1–55 Гц и длительностью 16 с, времена слушания были выбраны равными 8 с. Полевые работы были проведены на 22-х трехмильных и 48-ми двухмильных линиях с возбуждением

практическое применение предложенной тех- отработать большее число пунктов возбуждения. На рис. 3 приведены фрагменты временных разрезов, полученных по стандартной и модернизированной. более производительной методике, иллюстрирующие их практическую идентичность, что важно для обоснования перспективности многокомпонентных наблюдений в наземной сейсморазведке.

## Повышение уровня вибрационных сигналов в пустыне

По материалам экспериментальных работ [5], проведенных в одном из пустынных азиатских районов, показано, что деревянные прокладки, положенные под плиту вибратора, позволяют несколько выровнять амплитудный спекто возбуждаемых колебаний и несколько повысить их уровень. На рис. 4 приведены амплитулные спектры волн на мягком грунте с прокладками и без них.

# Сейсмические сигналы ускорения при работах на суше

На основании материалов экспериментальных и тестовых работ [6] авторы отдают предпочтение акселерометрам при регистрации волн в наземной сейсморазведке и отмечают их следующие преимущества:

ражать изменения физических свойств



Рис. 4 — Амплитудные спектры волн на мягком грунте с прокладками (b) и без них (a) Fig. 4 - Amplitude spectra on soft ground surface: with wood boards (b), no wood boards (a)

среды, и они подходят больше, чем приемники по скорости, при работах в сложных средах из-за их большей точности и чувствительности.

- 2. Сигналы ускорения делают возможным обнаружение и выявление небольших искажений принимаемых сигналов, обладают меньшими погрешностями на высоких частотах и большей разрешающей способностью, чем сигналы скорости.
- 3. Акселерометрия Р-волн делает возможным более точное выделение изменений модуля Юнга

# Нелинейные искажения вибрационных сигналов

Уровень нелинейных искажений вибрационных сигналов определяется конструкцией вибратора, системой управления источниками, физико-механическими параметрами грунта и его поведением под нагрузкой. Они особенно велики на низких частотах. Предложенный способ снижения интенсивности гармоник [7] основан на предсказании их величины, расчете сигнала обратной связи и введении его с противоположным знаком в систему управления вибратора, что и приводит к уменьшению интенсивности гармоник. На рис. 5 приведены экспериментальные материалы. иллюстрирующие эффективность предлагачается, что система проста в управлении и не требует калибровки канала и дополнительных механических компонентов.

# Сравнение двух различных близко расположенных приемо-регистрирующих полевых систем

Весной 2018 г. в Техасе на профиле протяженностью 4,2 мили были опробованы две автономные приемные системы, сейсмоприемники которых располагались на расстоянии 42 см друг от друга с целью анализа и сопоставления зарегистрированных записей [8]. Для получения объективных данных параметры выбраны идентичными. Анализ полученных дочных работ. материалов предусматривал визуальное сопоставление полученных записей, сравнение спектров зарегистрированных волн, оценку их Обзор основных направлений развития техвременных и фазовых различий, проверку и нологии полевых работ наземной сейсморазсопоставление структурных построений. В ре- ведки показал следующее: зультате сопоставления была показана практическая идентичность полученных результатов. Олнако по стоимости системы сушественно отличаются, что и будет определять лучшие перспективы более дешевой при съемках 3D.

# Технология работ с 200 000 цифровыми системами в западном Кувейте

Район проведения полевых работ представлял собой пустыню с плоским рельефом. твердым грунтом и широким развитием песчаных образований. Технология работ [9] предусматривала использование 230 тыс. цифровых датчиков, 115 200 живых каналов, двух комплектов Литература приемного оборудования G3I HD и 24 вибрато- 1. Z. Xu, L. Xinwen, K. Dezheng, D. Jiangwei, ров Jnova 380. Система наблюдений состояла из 120 линий возбуждений с 16 ПВ на каждой. Была применена система контроля LSAM (Large spread Automatic Management), позволяющая за 7 с проанализировать 200 000 каналов. Работы были проведены за 2 месяца в режиме flip/flop с произволительностью 4000 в день при хорошем качестве полученных записей.



емого способа ослабления гармоник. Отме- Рис. 5 — Пример работы способа подавления гармоник: красная линия — основной сигнал; синее облако — гармоники, а — без подавления гармоник; b — с подавлением гармоник Fig. 5 – Work example of the suppressing harmonics method: red line – main signal; blue cloud - harmonics, a - without harmonics suppression; b - with harmonics suppression

# Итоги

Высокоплотные системы наблюдений 3D в сочетании с широкополосным возбуждением колебаний являются эффективным средством получения качественных полевых материалов в районах со сложными сейсмогеологическими условиями. Опробованные направления развития технологии полевых работ оказались достаточно успешными, что обосновывает перспективы их практического применения для повышения эффективности систем наблюдений, приема и обработки были и производительности полевых сейсморазве-

# Выводы

- эффективность высокоплотных, широкополосных полевых систем наблюлений 3D в районах с низким исходным отношением сигнал/помех:
- перспективы развития и совершенствования технологии полевых вибросейсмических работ связаны с повышением их производительности, многокомпонентным возбуждением приемом и регистрацией колебаний, оптимизацией условий генерирования и приема волн и снижением уровня помех.

- F. Jing. A high-precision 3D acquisition case for the complex structures in Keshen Area. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 2. G. Cambois, S. Al Mesaabi, G.A. Casson, J. Cowell, M. Mahgoub, A. Al Kobaisi. The world's largest continuous 3D onshore and offshore seismic survey sets ambitious

quality and turnaround targets. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.

- 3. N. Moldoveanu, J.-R. Szescila, J. Quigley, E. Rosso, V. Sudhakar, P. Jones, Simultaneous vibroseis acquisition in West Texas: a premier survey. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 4. J.W. Thomas, T. Phillips, K. Werth, C. Lindsey. A Comparison of 3D Multi-Component (9C) Data Image Volumes Acquired with Conventional and Simultaneous Source Techniques (KWP Phase II), Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 5. Z. Wei, Y. Oi, C. Duan, P. Liu, Improving Vibroseis transmitted signal in desert areas. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 6. Z. Huaiban, L. Luming, Z. Guangde, C. Guobin, Z. Bohan, C. Wujin, C. Ruguo. Seismic Acceleration Signal Theory and Application Onshore. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 7. G. Ollivrin, N. Tellier. Smart LF for robust and straightforward reduction of low-frequency distortion Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 8. S.K. Chiu, P. Eick, B. Erickson. Evaluation of two co-located autonomous recording systems, Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 9. Z. Guo, H.Ning, H.Fan, L.Zhang, Q. Li. Acquisition Technology of over 200 000-channel Full-digital System (Application in West Kuwait Land 3D). Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.

ЭКСПОЗИЦИЯ НЕФТЬ ГАЗ МАРТ 1 (74) 2020

# ENGLISH

# Basis survey directions of developments in onshore seismic acquisition

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

Gubkin University (National University of Oil and Gas), Moscow, Russian Fede

## Abstract

New seismic onshore acquisition is led in regions with low signal/obstacle ratio. In this conditions it is necessary to use complex field 3D systems and conduct special experiments to receive good field materials. Some of this guestions are discussed in the article with showing the results of experiments.

# Materials and methods

Description of methodical and results of

## References

- 1. Z. Xu, L. Xinwen, K. Dezheng, D. Jiangwei, F. Jing. A high-precision 3D acquisition case for the complex structures in Keshen Area. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 2. G. Cambois, S. Al Mesaabi, G.A. Casson, J. Cowell, M. Mahgoub, A. Al Kobaisi. The world's largest continuous 3D onshore and offshore seismic survey sets ambitious quality and turnaround targets. Expanded Abstracts, SEG International 89th Annual meeting, 2019.
- 3. N. Moldoveanu, J.-R. Szescila, J. Quigley, E. Rosso, V. Sudhakar, P. Jones. Simultaneous vibroseis acquisition in

application two 3D onshore high density systems are very effective in regions with low signal/obstacle ratio. The new onshore acquisitions technology and special experiments seismic technologies are described in the to optimization onshore seismic technology. article Conclusions onshore shooting, acquisition, productivity, Review of publications revealed next points: vibrator, distortion, bin, experiment, digital advantage of new onshore acquisitions; importance and necessity con ducting of special field experiments in onshore acquisition. High density wide frequency 3D field West Texas: a premier survey. Expanded Seismic Acceleration Signal Theory and Abstracts, SEG International 89th Annual Application Onshore. Expanded Abstracts, meeting, 2019. SEG International 89th Annual meeting, 2019. 4. J.W. Thomas, T. Phillips, K. Werth, C. Lindsey. 7. G. Ollivrin, N. Tellier. Smart LF for robust and A Comparison of 3D Multi-Component straightforward reduction of low-frequency (9C) Data Image Volumes Acquired with distortion Expanded Abstracts, SEG Conventional and Simultaneous Source International 89th Annual meeting, 2019. Techniques (KWP Phase II). Expanded 8. S.K. Chiu, P. Eick, B. Erickson. Evaluation Abstracts SEG International 89th Annual of two co-located autonomous recording systems. Expanded Abstracts, SEG 5. Z. Wei, Y. Qi, C. Duan, P. Liu. Improving International 89th Annual meeting, 2019. Vibroseis transmitted signal in desert areas. 9. Z. Guo, H.Ning, H.Fan, L.Zhang, Q. Li. Expanded Abstracts, SEG International 89th Acquisition Technology of over 200 000-channel Annual meeting, 2019. Full-digital System (Application in West 6. Z. Huaiban, L. Luming, Z. Guangde, Kuwait Land 3D). Expanded Abstracts, SEG C. Guobin, Z. Bohan, C. Wujin, C. Ruguo. International 89th Annual meeting, 2019.

# Keywords

- meeting, 2019.

system Results

# GEOPHYSICS

UDC 550.3

| eration |  |
|---------|--|
|         |  |