

Методика xDSS для достижения высочайшей производительности при вибросейсмических операциях

■ Николя Тэлье, Жиль Оливрэн, Стефан Лярош, Кристоф Донваль, Sercel

В статье представлена новая методика сбора данных сверхвысокой производительности, которая позволяет операторам приблизиться к максимальной теоретически возможной производительности вибраторов, устраняя при этом ограничения, присущие наиболее передовым методикам сбора данных, используемым в настоящее время.

Краткий обзор

Повышение продуктивности проектов в сейсморазведке вот уже несколько десятилетий является ключевой задачей заказчиков и исполнителей работ. Она сохраняет свою актуальность, прежде всего в отношении усилий по увеличению плотности трасс конкретного проекта при стоимости, которая соответствовала бы итоговому повышению качества анализа коллектора.

Ближний Восток и Северная Африка традиционно были избраны первыми регионами для разработки и внедрения передовых методов повышения производительности, учитывая наличие крупных залежей углеводородов, расположенных на территориях с открытым рельефом местности и ограниченной антропогенной деятельностью. После успешного внедрения в регионе нескольких высокопроизводительных методов, два из которых - DS4 и Unconstrained Vibrators (далее - Свободные Вибраторы) - получили признание и теперь являются стандартами для большинства проектов. Хотя уровень производительности, обеспечиваемый этими методами, беспрецедентен, они все еще имеют некоторый потенциал для дальнейшего улучшения: производительность DS4 не является предельно достижимой, а агрессивное смешивание (блендинг) данных, связанное с применением метода свободных вибраторов, может повлиять на общее качество изображения.

В этой статье мы представляем новую высокопроизводительную методику на слиянии двух вышеупомянутых методов, и устраняем свойственные им ограничения. xDSS позволяет достичь сверхвысокой производительности, обеспечиваемой методом свободных вибраторов, при соблюдении «золотых правил» сбора данных при смешанной (блендинговой) съемке: «рандомизации во времени и пространстве» и «разреженности в области частотно-волновых характеристик». Автоматическое соблюдение этих двух правил позволяет максимально приблизиться к максимально достижимой производительности источника, одновременно предоставляя обработчикам удобный для деблендинга набор данных.

Актуальность новых высокопроизводительных методов становится чрезвычайно важной для перспективных проектов в Российской Федерации, где полевой сезон длится не более 4 месяцев, а заказчиком ставятся задачи существенного уменьшения цикла разработки и запуска в производство новых месторождений. Производительность становится решающим ключевым фактором съемок в таких регионах. В отличие от метода DS4 (который по своей сути требует больших расстояний и открытой местности), начинают появляться примеры применения метода свободных вибраторов в городских условиях и в сельскохозяйственных районах. Представленная ниже методика xDSS существенно ближе

к методу свободных вибраторов; она имеет перспективу успешного внедрения в различных регионах РФ, в том числе и на проектах в поддержку развития действующих месторождений.

Введение

Производительность вибросейсмических операций

Повышение производительности сейсморазведочных работ идет рука об руку с отраслевыми ожиданиями более высокой плотности трасс (большее количество траекторий лучей, проходящих через заданную область недр). Разные авторы называют ее одним из ключевых факторов (вместе с шириной полосы сигнала и распределением по азимуту/удалению) для оценки качества сбора данных и последующей способности адекватно отображать геологическую среду и характеризовать резервуары (Ourabah 2015 и Michou 2017).

Работа с одной группой вибраторов была нормой до появления метода Flip-Flop в 1991 году (когда две или более группы источников работают последовательно). Для того, чтобы сейсмические системы сбора данных вели непрерывную регистрацию (с нулевым временем простоя), был предложен метод "скользящей развертки", или Slip Sweep (Rozemond, 1996). При этой технологии группа вибраторов может начать излучать сигнал еще до момента окончания другими группами вибраторов своих собственных циклов вибрационных воздействий. Производительность Slip Sweep была увеличена благодаря стратегии отстрела по методу V1 (Postel, 2008), при которой большое количество одиночных вибраторов работает с длинными свип сигналами, с агрессивным временем скольжения. В методике HFVS (Krohn 2006) несколько расположенных

рядом групп вибраторов работают синхронно с фазо-кодированными свипами, что делает этот высокопроизводительный метод не самым продуктивным, но ориентированным на сохранение качества данных.

В то время как перечисленные выше методы пользовались разной степенью успеха в годы, последовавшие за их внедрением, две методики съемки, DS4 и свободные вибраторы, завоевывали все большее признание. В настоящее время они являются стандартом для большинства проектов на Ближнем Востоке и в Северной Африке. В Таблице 1 представлены сводные данные по максимальной производительности, достигнутой для наиболее распространенных высокопроизводительных методик.

Метод DS3 (синхронные свипы с разделением по расстоянию) был внедрен в 2010 году (Bouska 2010). При использовании этого метода две или более группы синхронно выдают один и тот же свип, при условии, что они разделены минимально допустимым расстоянием (примерно в два раза больше глубины залегания целевого объекта), чтобы избежать засорения данных в период между возбуждениями. Итак, на площади съемки работают по меньшей мере двумя группами вибраторов, минимальное расстояние между которыми будет соответствовать выбранному критерию. Источники внутри данной группы работают либо в режиме flip-flop, либо в режиме slip sweep с фиксированным временем скольжения (slip time). Метод DS3, описанный Bouska, достаточно быстро превратился в метод DS4. Хотя в литературе нет четкого определения, этот метод обычно расшифровывается как "синхронный слип свип с разделением по расстоянию", и относится к методу DS3, который дополняется некоторыми

функциями. Во-первых, slip sweep здесь разрешен даже при несоблюдении минимального расстояния между группами. Во-вторых, время скольжения становится динамическим, т. е. увеличивается по мере сближения источников. Это привело к определению правил соотношения расстояния /времени (D/T), ключевого элемента съемки по методу DS4. Эти правила устанавливают компромисс между производительностью и засорением данных между записями. Наконец, группы вибраторов больше не предопределены, а назначаются динамически в зависимости от их готовности к работе.

Что касается сейсмических данных, то для регистрирующих систем, способных поддерживать этот метод, создается одна запись для каждой группы вибраторов, с соответствующим местоположением группы и соответствующими активными каналами. Для съемок DS4 требуется стандартная обработка с расширенным шумоподавлением, в частности, для удаления гармонического шума при работе методом slip sweep. Достижимая производительность зависит от множества факторов (рельеф, правило D/T, количество групп вибраторов и т. д.). При стандартном правиле D/T для Ближнего Востока (рис. 1) работа с 24 группами вибраторов позволяет достичь максимальной производительности около 30 000 ПВ в сутки.

Стратегия сбора данных при использовании метода свободных вибраторов отличается от стратегий других методов. Автономные и независимые группы вибраторов свободно работают в пределах зоны съемки, запуская возбуждение сигнала сразу после выхода к запланированному для отстрела пункту возбуждения. Для контроля за работой не требуется централизованного управления, а

свипы, запускаемые вручную водителями вибраторов, устраняют зависимость от радиосвязи, которая в этом случае нужна только для мониторинга пунктов возбуждения. Таким образом, этот подход устраняет время ожидания, связанное с вибраторами; его дополнительное преимущество еще и в том, что добавление или вывод вибратора из операций не влияет на проведение отстрела. Этот метод может быть применен на любой местности, включая сильно пересеченные или сложные районы с ограниченной маневренностью источника или с плохой радиосвязью. Поскольку может быть задействовано любое количество вибраторов, производительность партии пропорциональна количеству работающих групп, в отличие от методов DS3/DS4, которые имеют тенденцию достигать плато из-за требований соблюдения правила D/T, и их зависимости от радиосвязи. Что касается сейсмических данных, исходные данные оказываются сильно засорены шумами соседних записей. Эффективная схема разделения смешанных данных (деблендинг) в качестве начального шага в обработке является обязательной (Рис. 2); однако это уже не является существенной проблемой, поскольку компании-обработчики данных в последние годы значительно улучшили свои алгоритмы, обработав их прежде всего в ходе морских съемок, где смешанный сбор данных является нормой.

Эта передовая методология была впервые представлена компанией BP (Howe 2008) как метод независимых синхронных свилов (Independent Simultaneous Sweeping, или ISS). В дополнение к вышеизложенному, авторы описывают еще две ключевые особенности этого метода. Во-первых, использование свилов разной длины для каж-

дой группы вибраторов. Такое кодирование свипов имеет целью облегчить разделение данных (деблендинг). Во-вторых, разделение зоны съемки на сектора разного размера, в зависимости от их доступности; каждый сектор отстреливается одной группой. Такое разделение на секторы дает возможность избежать отстрела с недостаточным пространственно-временным разделением. Однако обе эти ключевые особенности не применяются на практике в коммерческих съемках. Причина в том, что будучи напрямую связаны с соблюдением «золотых правил» разделения (описанных в следующем разделе) они неизбежно оказывают влияние на общее качество данных; поэтому здесь авторы намеренно решили провести различие между методом ISS, как представлено Хоу, и его практическим применением в полевых условиях, которое именуется здесь как метод свободных вибраторов. Однако стоит отметить, что термин ISS зачастую используется для обозначения обоих методов, не вдаваясь в подобные нюансы.

Несмотря на рекордную производительность, достигнутую при проведении тестов (Pecholcs, 2010) более десяти лет назад, и демонстрацию эффективности

метода в областях с короткими окнами отстрела (Kommedahl 2016), принятие отраслью метода свободных вибраторов продвигалось относительно медленно. И хотя метод DS4 по-прежнему пользуется популярностью на Ближнем Востоке и в Северной Африке, авторы отмечают возобновление интереса к методике свободных вибраторов. Так например, недавно в этом же регионе была достигнута производительность до 45 000 ПВ в день с использованием 35 одиночных вибраторов, и это спустя десять лет после достижения аналогичной производительности при проведении тестов. Также следует отметить, что в отличие от метода DS4, который по своей сути требует больших расстояний и открытой местности, начинают появляться примеры применения метода свободных вибраторов в городских условиях и в сельскохозяйственных районах.

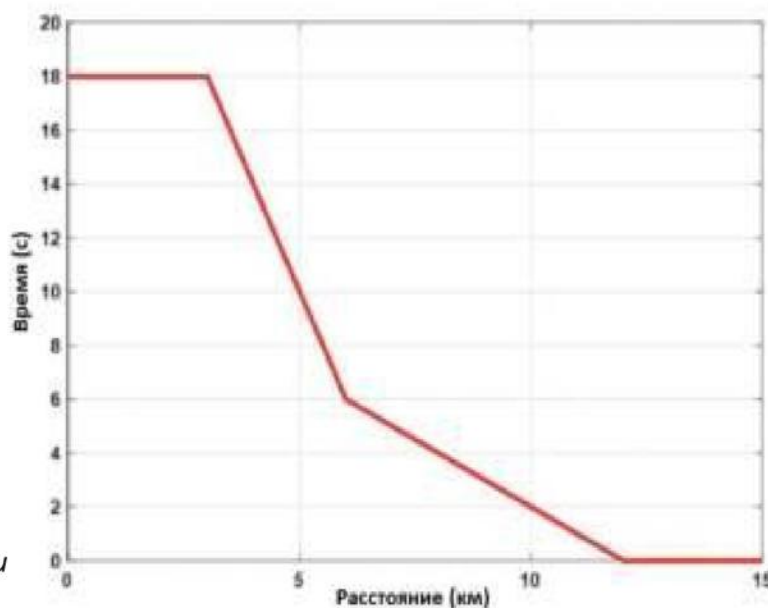
Ограничения существующих высокопроизводительных методов

Реализация методики DS4 требует больших расстановок, чтобы поддерживать минимальные расстояния для синхронных свипов, и за счет этого достичь повышения производительности. Также предпочтителен выбор относи-

▼ *Табл. 1. Основные высокопроизводительные методы: максимальные наблюдаемые производственные показатели (округленные). Свипы, используемые для различных методов, имели длину около 12 сек. (за исключением V1). Заметим, что фактически достижимая производительность на самом деле сильно зависит от множества параметров (длины свипа, количества вибраторов, расстояния между пунктами возбуждения, параметров D/T, разрешенного объема часов отстрела в день, и т.д.).*

Метод сбора данных	ВТ в день, для всех групп (Максимум)	Число групп	ВТ в день, на группу (Максимум)
Свободные вибраторы	45 000	35	1 300
DS4 (стандартное правило D/T)	30 000	24	1 250
DS3	15 000	20	750
V1	15 000	20	750
Slip-Sweep	6 000	10	600

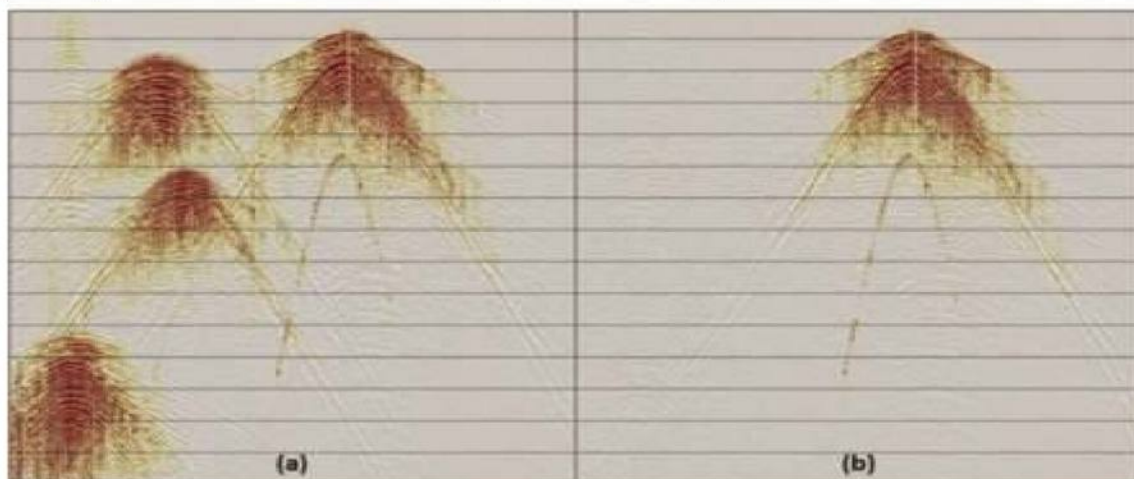
- **Рис. 1. Типовое правило расстояния/времени при проведении съемок на Ближнем Востоке: вибраторам установлено ограничение по излучению сигнала ниже красной ломаной линии, т. е. когда они работают слишком близко друг к другу в пространственно-временной области. В этом примере параметр времени скольжения (Slip Time), заданный как 18 сек., должен соблюдаться при расстоянии между источниками менее 3 км, при этом время скольжения постепенно уменьшается до тех пор, пока не будет достигнуто расстояние между источниками, равное 12 км, за пределами которого разрешена одновременная (синхронная) работа вибраторов.**



тельно «удобной» местности для проведения съемки (т. е. местность с небольшим числом препятствий или обходов для вибраторов), чтобы облегчить передвижение источников и достичь максимальной производительности, достижимой при этом методе. Буска даёт четкое руководство по выбору минимального расстояния для работы синхронными свипами (Bouska 2010), но, несмотря на усилия по сокращению этого минимального расстояния на ранней стадии применения этого метода, в отрасли склон-

ны придерживаться осторожного подхода, и предпочтение отдается оптимизации баланса между производительностью и качеством. Таким образом, с точки зрения производительности, DS4 имеет ограничение, связанное с заданным правилом расстояния/времени, за исключением случаев, когда количество развернутых групп уменьшено применительно к выбранному правилу. Второе ограничение производительности связано с централизованным характером сбора данных методом DS4 и его зависи-

- ▼ **Рис. 2. Пример смешанного отстрела: а) До разделения записей (деблендинга), б) после разделения записей. По материалам Guillouet, 2016.**



мостью от радиосвязи, когда команды на возбуждение посылаются на вибраторы по радио. Задержка радиосвязи при этом может составлять до двух секунд на свип, а централизация сбора данных к тому же еще и предотвращает отстрел любого ПВ за пределами выбранного правила расстояния/времени.

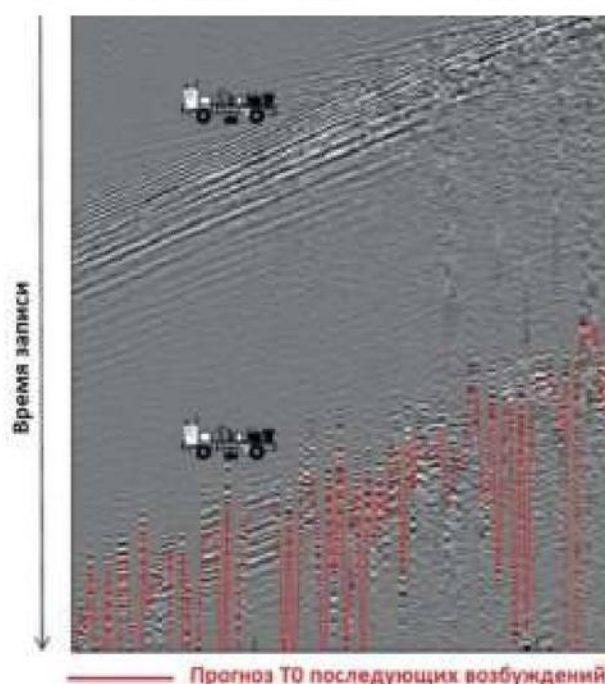
Сбор данных по методу свободных вибраторов предполагает последующее разделение записей (деблендинг). Действительно, чтобы восстановить сейсмические данные из смешанной записи (блендинга) и избежать появления в записях нежелательных шумов смещения, на этапе сбора данных необходимо соблюдать два «золотых правила»:

- «Золотое правило» деблендинга №1: Рандомизация во времени и пространстве (т. е. отсутствие генерации искусственных когерентных событий) (Рис. 3).

- «Золотое правило деблендинга №2: Разреженность в области частотно-волновых характеристик (т. е. фокусирование сигнала в FK-области, для исключения помех, имеющих эквивалентные уровни энергии) (Рис. 4).

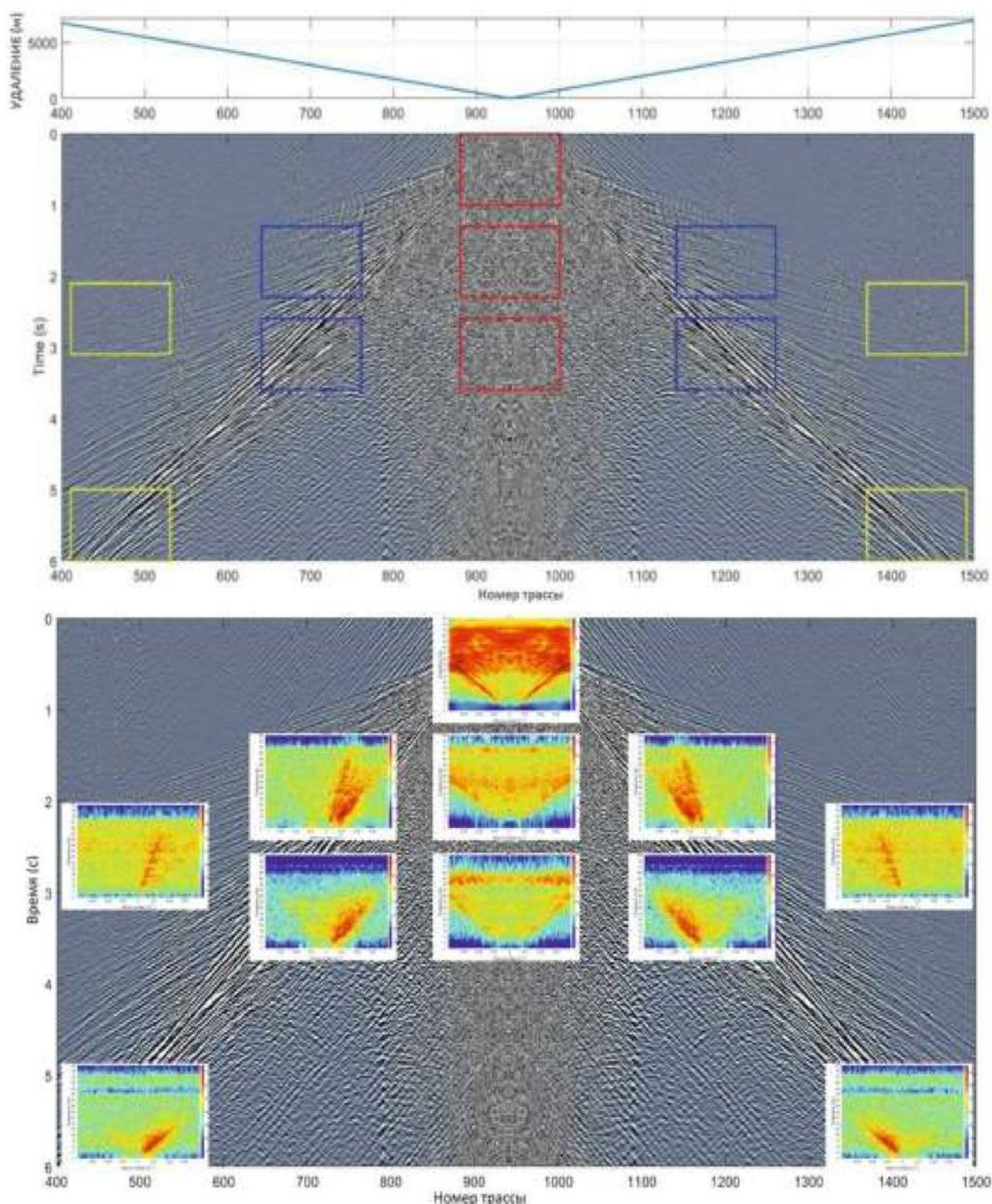
Оба эти «золотые правила» становятся труднее соблюдать при высокоплотных съемках с использованием многочисленных групп вибраторов: при использовании до 50 активных одиночных вибраторов на самых продвинутых съемках вероятность нарушения требований к случайности и разреженности оказывается намного выше.

Тем не менее существуют средства, позволяющие сделать сбор данных по методу свободных вибраторов вполне совместимым с эффективным разделением записей. В основном они сводятся к правильному планированию съемочных операций с целью соблюдения упомяну-



▲ Рис. 3. Иллюстрация «золотого правила» деблендинга №1: (Вверху): Водители, находящиеся в зоне прямой видимости, как правило синхронизируют скорость вибраторов и темп работы. (Внизу): Пример результата в домене Общего Пункта Приема (ОПП), широко используемом в большинстве методов при деблендинге. В этом примере случайность во времени (рандомизация) не соблюдается (два вибратора запускают свипы с одинаковым временем скольжения): перекрестное наложение выглядит как регулярная помеха, что с большой вероятностью будет препятствовать его последующему удалению. (А. Berthaud, из переписки).

Рис. 4. Иллюстрация «золотого правила» деблендинга №2: (Вверху) Эта несмешанная запись (данные сгруппированы по Общему Пункту Возбуждения - ОПВ) уже демонстрирует сильное засорение амплитуд на близких удалениях. (Внизу) Соответствующий анализ FK демонстрирует, что линейные события не могут быть различимы на близких удалениях, в отличие от средних и больших. Эта способность различать линейные события (для дальнейшего деблендинга в домене кривизны) будет еще более скомпрометирована при неконтролируемом смешанном сборе данных (вследствие дополнительного засорения данных близлежащими источниками), что подвергает общий результат деблендинга очевидному риску.



тых «золотых правил». Вместе с тем, по имеющимся сведениям, такое планирование трудоемко и сложно в исполнении; кроме того, оно должно быть динамичным, чтобы справляться с непредвиденными событиями. На практике, как в отношении разбиения на сектора, так и в отношении кодирования свипов, предусмотренных Хау в методе ISS, планирование операций реализуется редко, или же операции быстро отклоняются от плана. Кроме того, качественная генерация вибрационных воздействий, когда источники возобновляют работу после периода ожидания, оказывается весьма сомнительной, когда голосовая радиосвязь является единственным связующим звеном между оператором системы сбора данных и вибраторами.

Преодоление ограничений существующих автономных высокопроизводительных методов

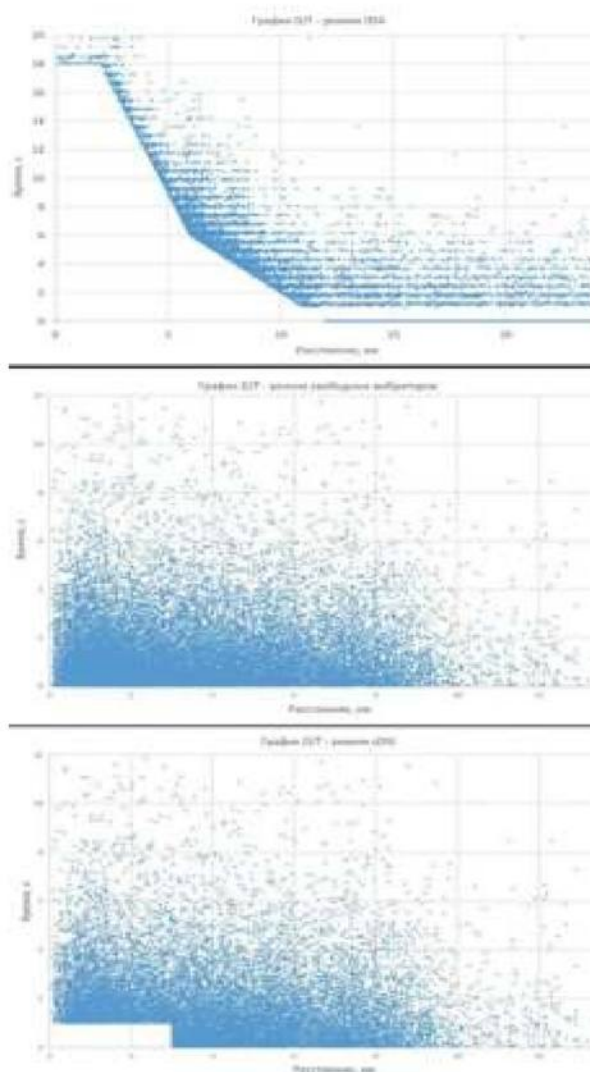
Метод xDSS находится на стыке методик DS4 и свободных вибраторов (Рис. 5). Разработанный специально для сохранения высочайшей производительности, обеспечиваемой методом свободных вибраторов, он позволяет достичь оптимального качества при разделении смешанных данных, без риска возможного несоблюдения строгой случайности (рандомизации) при проведении съемки, или недостаточной разреженности в области частотно-волновых характеристик у источников, работающих в неконтролируемой пространственной и временной зоне. Для этого устанавливается правило расстояния/времени, но, в отличие от метода DS4, управление более не ведется централизованно из кабины регистрации, а передается автономным вибраторам, которые действуют как децентрализованная сеть, принимающая оптимальные решения о съемке в

пределах своей зоны покрытия радиосвязью (5 км - типовое расстояние, за пределами которого ведение съемки возвращается к стандартной методике свободных вибраторов).

Таким образом, децентрализованное управление источниками устраняет задержку радиосвязи (до 2 сек. на свип), связанную с передачей команд запуска в режиме DS4. Параметры расстояния/времени могут быть впоследствии смягчены с тем, чтобы дать возможность проведения отстрела с меньшим допустимым расстоянием между активными ПВ, особенно когда метод применяется в сочетании с эффективным решением для удаления гармоник между записями (Ollivrin 2019), которое способствует успешному разделению данных. Произвольному порядку отстрела при съемке дополнительно способствует отсутствие временных интервалов радиосвязи (как например, на Рис. 6а в случае DS4), а также автоматический дитеринг (случайное смещение) времени отстрела ПВ в случае возобновления работы после перерыва и перезапуска части активных вибраторов.

С точки зрения ведения съемки и в отличие от метода свободных вибраторов, автономные вибраторы могут быть дистанционно и мгновенно активированы или деактивированы из центра управления регистрацией, вместо передачи команд водителям вибраторов посредством радиосообщений. Управление отстрелом происходит автоматически, как только устанавливаются параметры правила расстояния/времени, что позволяет оператору сосредоточиться на выполнении других обязанностей. Внедрение метода xDSS на практике является простым при централизованной установке параметров на центральной электронике системы сбора данных:

- Рис. 5. Сравнение принципов метода xDSS с DS3/DS4 и методом свободных вибраторов (вверху), с преимуществами и недостатками, каждого метода (внизу).



- ◀ Рис. 6. Распределение виброточек на диаграмме расстояния/времени (D/T) для трех высокопроизводительных методов.
- (а) DS4 со стандартным правилом D/T, пример коммерческого проекта. Правило D/T соблюдается, но достижению максимальной производительности препятствует применение радиосвязи для управления источниками.
- (б) свободные вибраторы, пример использования в коммерческом проекте: многочисленные виброточки отстреляны в достаточно компактной пространственно-временной области, хотя некоторая регулярность в отстреле расстановки уже проявляется на малых расстояниях между источниками, что нарушает «золотые правила» деблендинга.
- (с) Ожидаемые результаты xDSS, примерно соответствующие результатам, полученным из варианта (б) с учетом соответствующей зоны исключения по правилу D/T. Эта зона исключения может настраиваться (3 км, 1 сек. в нашем примере).

оно не требует ни дополнительных аппаратных средств, ни дополнительных радиомодулей, ни узкоспециального опыта. Интегрированное решение xDSS поддерживается электроникой вибратора VE464 в комбинации с системой сбора данных 508XT. В качестве альтернативы для съемки с применением беспроводных систем, методика xDSS поддерживается модулем SMA (Source MAnager). Это автономное/портативное устройство, имеющее интерфейс для подключения напрямую к VE464 было разработано сравнительно недавно для обеспечения управления источниками при эксплуатации 508XT. SMA поддерживает все функции обеспечения высокой производительности и качества сигнала VE464; оно призвано облегчить управление источниками, работающими с беспроводными системами сбора данных, в частности, с системой WiNG, с которой имеет высокий уровень интеграции.

Ожидается, что производительность съемок xDSS будет эквивалентна результатам, получаемым с помощью методики свободных вибраторов. Действительно, несмотря на необходимость минимального контроля для того, чтобы предотвратить попадание источников в зону исключения правила D/T, методика xDSS избавляет сейсмопартию от проведения многочисленных повторных съемок, обычно связанных с методикой свободных вибраторов (из-за нарушения «золотых правил» разделения смешанных данных, обнаруженных полевыми геофизиками после завершения суточной смены). На Рис. 6 показаны примеры распределения ПВ по правилу расстояния/времени для трех высокопроизводительных методик.

Заключение

Сейсмическое оборудование стало ключевым фактором внедрения высо-

копроизводительных методик, которые в настоящее время позволяют достичь беспрецедентной производительности и таким образом, поддержать ожидания отрасли в отношении более высокой плотности трасс, при стоимости, адекватной повышению качества анализа коллектора. Ограниченное время зимнего полевого сезона, а также отраслевые тренды снижения времени разработки и запуска месторождений в производство делают эти методы крайне востребованными на проектах в РФ. Новый метод, xDSS, был разработан для устранения ограничений, которые присущи стандартным широко распространенным методикам. Устранение задержки радиосвязи, неизбежной при централизованном управлении по методу DS4 для каждого ПВ, экономит ценные секунды, что открывает путь к применению менее жесткого правила расстояния/времени. Будучи ближе к методу свободных вибраторов, чем к DS4 с точки зрения принципа работы и достижимой производительности, метод xDSS повышает качество пакета регистрируемых данных вследствие соблюдения «золотых правил» разделения смешанных данных: рандомизации во времени и пространстве, разреженности в области частотно-волновых характеристик. Ожидается, что первое применение метода xDSS для коммерческих съемок, полностью автоматизированного и простого в использовании, состоится уже в ближайшем будущем, в том числе и на проектах в городских условиях и на площадях с развитой агропромышленной инфраструктурой. Следующим шагом в улучшении качества съемок, получаемых с применением агрессивных методик смешивания данных, вероятно, будет кодирование источника, что в настоящее время является устойчивым трендом при проведении морских съемок.

Литература:

1. Bouska, J. [2010]. Distance separated simultaneous sweeping, for fast, clean vibroseis acquisition. *Geophysical Prospecting*, 2010, 58, 123–153. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2009.00843.x>.

2. Guillouet, M., Berthaud, A., Bianchi, T., Pignot, G., Mahrooqi, S., Shorter, J. [2016]. Recovery of Blended Data – A Sparse Coding Approach for Seismic Acquisition. 78th EAGE Conference and Exhibition 2016, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600947>.

3. Howe, D., Foster, M., Allen, T., Taylor, B. [2008]. Independent Simultaneous Sweeping – a method to increase the productivity of land seismic crews. 78th SEG Conference and Exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.3063932>.

4. Kommedal, J., Alexander, G., Wyman, L., Wagner, S. [2016]. ISS on Ice – Seismic Acquisition in the Arctic. 86th SEG Conference and Exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/segam2016-13866643.1>.

5. Krohn, C., Johnson, M. [2006]. HFVSTM: Enhanced data quality through technology integration. *Geophysics*, Vol. 71, No. 2; pp. E13–E23. <https://doi.org/10.1190/1.2187730>.

6. Meunier, J., Bianchi, T. [2002]. Harmonic noise reduction opens the way for array size reduction in vibroseis operations. 72nd SEG Conference and Exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1817354>.

7. Michou, L., Michel, L., Herrmann, P., Coléou, T., Feugère, P., Formento J. [2017]. Survey Design Comparison Regarding Seismic Reservoir Characterization Objectives – A case study from South Tunisia. 79th EAGE conference and exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701243>.

8. Ollivrin, G., Tellier, N. [2019]. SmartLF for robust and straightforward reduction of low-frequency distortion: SEG 89th Annual Meeting, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/segam2019-3214978.1>.

9. Ourabah, A., Bradley, J., Hance, T., Kowalczyk-Kedzierska, M., Grimshaw, M., Murray, E. [2015]. Impact of Acquisition Geometry on AVO/ AVOA Attributes Quality - A Decimation Study Onshore Jordan. 77th EAGE conference and exhibition, расширенная

аннотация. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201413301>.

10. Pecholcs, P., Lafon, S., Al-Ghamdi, T., Al-Shammery, H., Kelamis, P. and Huo, S. [2010]. Over 40,000 VPs per day with real-time quality control: Opportunities and Challenges. 80th SEG Conference and Exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.3513041>.

11. Postel, J.J., Meunier, J., Bianchi, T., Taylor, R. [2008]. V1: Implementation and application of single-vibrator acquisition. *The Leading Edge*, Vol 27, Issue 5. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.2919577>.

12. Rozemond, H. [1996]. Slip sweep acquisition. 66th SEG Conference and Exhibition, расширенная аннотация. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1826730>.

Подробнее об авторах



Николя Тэлье

Главный геофизик
Sercel



Жиль Оливрэн

Руководитель
Группы развития
проектов
Sercel



Стефан Лярош

Ведущий инженер
Группы исследований
и разработок в области
сбора сейсмоданных
Sercel



Кристоф Донваль

Ведущий инженер
Группы исследований
и разработок в области
сбора сейсмоданных
Sercel