

Настоящее и будущее вибрационной сейсморазведки

М.Б. Шнеерсон, А.П. Жуков, ООО «Геофизические системы данных», г. Москва

Вибрационная сейсморазведка, основанная на возбуждении упругих волн динамическими квазигармоническими нагрузками, является одним из основных геофизических методов поиска и разведки полезных ископаемых и изучения глубинного строения земных недр. Достаточно высокий научный, технический и методический уровень современной вибрационной сейсморазведки, способной решать сложные практические задачи, базируется на следующих основных достижениях и положениях:

- разработаны теоретические основы метода, использующие линейно-упругое представление о среде и распространении в ней волн и на корреляционном способе преобразования полученных записей в импульсную форму;

- наличие широкого набора качественных электрогидравлических вибрационных источников колебаний с усилиями от 10-17 до 30 и даже более тонн, размещаемых на различных транспортных базах и оснащенных специальной аппаратурой, позволяющей автоматизировать работу вибраторов и обеспечивающей текущий контроль за их работой с дистанционной передачей данных на сейсмостанцию;

- выработан определенный стандарт, определяющий методику полевых работ и обработку получаемых вибросейсмических записей, и, наконец, наличие широкого набора приемных устройств и цифровой многоканальной регистрирующей аппаратуры.

В настоящее время вибрационная сейсморазведка является высокоэффективным и высокопроизводительным методом разведки, оснащена современным оборудованием и использует новейшие способы получения и обработки сейсмической информации. Области её применения самые разнообразные – от глубинных и региональных работ до детальных, пространственных съемок 3D и 4D.

При глубинных и региональных исследованиях вибрационная сейсморазведка оказалась особенно эффективной при переходе на возбуждение и регистрацию отраженных волн по методике многократных перекрытий МОВ-ОГТ. Относительно небольшие расстояния между пунктами возбуждения и приема колебаний в сочетании с использованием мощных вибрационных источников и методических средств по усилению полезных волн и подавлению помех сделали возможным уверенную регистрацию отраженных волн от поверхности фундамента и более глубоких границ раздела, включая поверхность Мохоровичича. Примерами успешных региональных работ в нашей стране являются пересечения Южного Урала и прилегающих территорий востока Русской платформы, геотраверс от Магадана через Магаданскую область на

северо-восток, к океану и др. Не останавливаясь на методике проведения этих работ, отметим, что при их проведении были использованы вибраторы с усилиями до 40 т, длительные посылки и системы наблюдений высокой кратности. Комплекс этих методических приемов обеспечил получение качественных первичных материалов, которые были использованы для глубинных построений и геолого-геофизической интерпретации данных.

Тем не менее, основные объемы вибрационной сейсморазведки приходится на поисково-разведочные работы, по прослеживанию границ раздела в осадочной толще, поиску и разведке месторождений углеводородов. По ориентировочным данным до 40-45% объемов работ на нефть и газ выполняются с применением вибрационных источников колебаний. Работы ведутся практически во всех регионах России, перспективных на нефть, газ и некоторые другие полезные ископаемые. Однако есть районы и участки, на которых применение вибраторов оказывается пока еще неэффективным. Это - незамерзающие зимой болота и топи, а также крутые склоны рельефа. Причины - отсутствие упора для рабочей плиты вибратора и сползание установок. Для проведения работ на таких участках необходимы погружные вибраторы и специальные установки, способные возбуждать колебания в таких условиях.

Высокое качество современных вибрационных источников обеспечивает устойчивую высокопроизводительную работу полевых отрядов. Ушли в прошлое проблемы, возникавшие из-за ненадежной работы установок, когда утром на профиль выезжало пять вибраторов, а через два-три часа работы оставались два, а в ряде случаев один «полуживой» излучатель. И так каждый день. Сегодня производительность в 200 -220 физ. точек за день при высоком качестве материалов считается нормой. Однако повышение числа пунктов возбуждения, обрабатываемых за день работы, является актуальной задачей. Специфика вибрационной сейсморазведки позволяет повысить производительность работ за счет одновременной работы двух и более групп вибраторов на одну расстановку сейсмоприемников.

В настоящее время сложился известный стандарт, определяющий технические и методические средства вибрационной сейсморазведки.

Вибрационные источники – это установки отечественного, импортного или смешанного (вибратор импортный, транспортная база отечественная) производства с усилием от 17 тонн и выше, смонтированные на соответствующих условиях проведения работ транспортных базах (автомобиль, багги, снегоболотоход), в количестве 4-5 штук на полевой отряд.

Из них четыре, как правило, работают, а один – в резерве. Отмечается стремление к применению вибраторов со все возрастающими усилиями на грунт. Имеются вибраторы с усилиями 30 т и даже 40 т. Эти тенденции понятны и они соответствуют поговорке «сила есть – ума не надо». С одной стороны, можно сэкономить на числе вибраторов и количестве проезда, повышаются требования к подготовке профиля и, что может быть самое главное, снижается резонансная частота возбуждаемых колебаний и уменьшается разрешенность записей. Это многократно подтверждено практикой работ и опытом использования маломощных взрывных и невзрывных источников колебаний. Конструкции современных вибраторов позволяют изменять относительный уровень излучаемых сигналов от 40-50% до 100% от максимального. В результате меняется интенсивность возбуждаемых колебаний. Однако зависимость между силовыми параметрами вибраторов и амплитудами возбуждаемых волн носит нелинейный характер, что приводит к тому, что начиная с определенных величин усилий рост амплитуд волн или замедляется, или вообще прекращается. С этой позиции полезно работать при минимально возможных усилиях. Как правило, работы ведут при усилиях от 60 до 90 % от максимальных, в пределах которых вибраторы работают наиболее устойчиво.

Полевые работы повсеместно проводят с группированием вибраторов и с синхронным накоплением сигналов, что обеспечивает увеличение амплитуд полезных волн, пропорциональное числу вибраторов, ослабление регулярных помех в соответствии с их кажущимися скоростями и частотами и определенное повышение отношения сигнал/нерегулярные помехи в зависимости от их природы и направления подхода к профилю. Степень подавления регулярных помех определяется уровнем вторичных максимумов характеристики направленности и, во многом, зависит от характера распределения чувствительности групп источников. При равномерном ее распределении достигается самый компактный основной максимум характеристики направленности, но относительно большой уровень промежуточных максимумов, которые и определяют степень подавления помех. Повысить ее можно путем применения неравномерных по чувствительности групп вибраторов, которые легко реализуются на практике. При съемках 2D группы вибраторы размещают по профилю, а при - 3D и 4D, как правило, вдоль линий возбуждения. Синхронное накопление приводит к повышению отношения сигнал/нерегулярная помеха, которое при абсолютно нерегулярных помехах пропорционально корню квадратному из числа накоплений. Характер этой зависимости таков, что он делает нецелесообразным накопление большого числа сигналов из-за снижения его эффективности и производительности работ (увеличение времени на обработку каждой физической точки). Как правило, число накоплений выбирают не больше 10 – 12.

Практика работ с вибрационными источни-

ками сейсмических колебаний показывает, что качество полевых материалов во многом определяется обоснованным выбором рабочих параметров управляющих сигналов. В вибрационной сейсморазведке они представлены двумя модификациями: линейные сигналы, у которых частота в процессе излучения колебаний изменяется по линейному закону, и нелинейные, характеризующиеся переменной скоростью изменения частоты. Превалируют линейные развертки, хотя известны случаи успешного применения нелинейных управляющих сигналов. Ранее проводились работы по опробованию других видов управляющих сигналов. Это были различные кодовые последовательности импульсов, на основе которых принципиально возможно существенное уменьшение уровня корреляционных шумов (что ведет к расширению динамического диапазона виброразведки), а также гармонические посылки постоянной частоты, применение которых позволяет повысить уровень подавления помех и реализовать новые способы вибрационной сейсморазведки. Но эти направления пока не разрабатываются.

Подходы к выбору параметров управляющих сигналов рассмотрим на примеры линейных сигналов. Их три: начальная и конечная частоты, а также длительность сигнала.

Минимальная частота сигнала выбирается в зависимости от собственной частоты используемых сейсмоприемников. Очевидно, нецелесообразно выбирать минимальную частоту свипа существенно меньше, чем собственная частота сейсмоприемников. Поэтому при 10-ти герцовых сейсмоприемниках минимальная частота развертки составляет 8 -10 Гц. Минимальная частота сигнала влияет на глубину разведки, которая увеличивается с ее уменьшением. Но при высоком уровне низкочастотных поверхностных волн приходится повышать минимальную частоту развертки до 15 и даже 20 Гц.

Максимальная частота сигнала выбирается из условия превышения минимальной частоты не менее чем в четыре раза, что обеспечивает достижение приемлемого динамического диапазона записей. Повышение максимальной частоты всегда целесообразно, т.к. оно ведет к расширению динамического диапазона записей. Однако практика работ показывает, что ее повышение не всегда улучшает материал, вследствие частотно-зависимого поглощения волн и резкого уменьшения их интенсивности в области повышенных частот. Применение нелинейных разверток позволяет, в определенной степени, компенсировать уменьшение уровня высокочастотных компонент волновых полей путем уменьшения скорости изменения частоты в желаемой полосе частот. Но возможности нелинейных сигналов ограничены из-за увеличения поглощения волн с ростом их частоты в реальных средах. Поэтому эффективность нелинейных управляющих сигналов определяется достижимым уровнем целевых волн в желаемой полосе частот.

С теоретических позиций направление изменения частоты управляющих сигналов

снизу – вверх или сверху – вниз не оказывает влияния на качество материалов. Однако при развертках сверху – вниз на коррелограммах возникают специфические помехи, имеющие форму повторных первых вступлений и обусловленные нелинейными искажениями, образующимися в процессе передачи нагрузок грунту. Наиболее интенсивны они на низких частотах, в пределах которых максимальна асимметрия во взаимных перемещениях поршня с плитой и цилиндра вибровозбудителя. Время появления помех на коррелограммах определяется частотным диапазоном управляющего сигнала и скоростью изменения его частоты. Путем ее увеличения можно добиться, чтобы эти помехи появлялись за пределами времен целевых отражений. Нелинейные волны (гармоники), возникающие в системе плита вибратора – грунт могут быть использованы для получения дополнительной геологической информации, что будет рассмотрено далее.

Длительность управляющего сигнала определяет уровень закачиваемой в среду энергии и, тем самым, влияет на интенсивность возбуждаемых и регистрируемых волн. С увеличением длительности излучения возрастает отношение сигнал/нерегулярная помеха, которое зависит от природы помех и степени их нерегулярности. Например, преваляют ли в среде шумовые помехи, микросейсмь или корреляционный фон. Выбор длительности управляющего сигнала определяется глубиной разведки, но всегда следует стремиться применять минимально возможные по длительности сигналы. Обусловлено это методическими и экономическими факторами.

Особенностью корреляционных функций является то, что их протяженность равна удвоенной длительности управляющего сигнала. Поэтому при протяженных во времени сигналах их корреляционные функции могут полностью перекрывать временной интервал разведки, что приводит к снижению динамического диапазона вибрационной сейсморазведки. При коротких сигналах это перекрывание может быть меньше, что положительно скажется на качестве регистрируемых волн. Далее, при длительных сигналах повышается вероятность регистрации интенсивных помех различной природы (шумы проходящего рядом транспорта, поезда и др.), что усложнит выделение на их фоне целевых волн и, самое главное, снизит производительность работ, что может иметь решающее значение при выборе длительности сигналов. В настоящее время длительность сигналов при работах на нефть и газ не превышает 8-10 с, а при глубинных исследованиях увеличивается до 30 с и более. Критерием оптимальности этого параметра управляющих сигналов является рост, или уровня полезных волн, или отношения сигнал/помеха.

Увеличение/уменьшение амплитуд управляющих сигналов в их начале и конце, соответственно, (скос) позволяет снизить уровень корреляционных помех и поэтому всегда используется на практике. Кроме того, скос в начале сигнала действует как высокочастотный фильтр, ослабляя низкочастотные колеба-

ния. Скос определяется временем уменьшения/увеличения амплитуд и может регулироваться в современных вибраторах. Его увеличение приводит к уменьшению фона и общего уровня записи. С позиции минимума корреляционных помех наилучшим был бы треугольный скос, но при этом вибратор половину бы времени работал вхолостую. На практике величина скоса выбирается в пределах до 1 с.

Корреляционная обработка полученных записей является неотъемлемой процедурой вибрационной сейсморазведки и предназначена для сжатия виброграмм, выделения регулярных волн, определения времен их прихода и относительной интенсивности. Современная технология проведения полевых работ предусматривает корреляцию виброграмм в поле на сеймостанции, что позволяет экономить магнитную пленку и время на вычислительном центре. Однако при этом исключается возможность повышения качества материалов за счет выбора оптимальных параметров корреляционной обработки, таких как «весовая корреляция», выделение волн - гармоник и других возможных процедур обработки. С этих позиций целесообразно сохранять виброграммы по основным, наиболее значимым для работ профилям.

Таково современное состояние вибрационной сейсморазведки. Она эффективна, обоснована теоретически, экспериментально и оснащена необходимыми аппаратурой и оборудованием. Естественно, что она будет развиваться и совершенствоваться в соответствии со все возрастающими требованиями к качеству и полноте получаемых результатов. Этот процесс будет происходить по следующим двум направлениям: совершенствование метода в рамках существующих теоретических и экспериментальных положений и развитие метода на основе привлечения новых идей и решений, базирующихся на специфических особенностях вибрационной сейсморазведки.

По первому направлению выделим следующие, основные на наш взгляд, работы. Повышение эксплуатационных и технологических характеристик вибрационных источников колебаний и устройств по текущему контролю за их параметрами. Создание относительно малогабаритных вибрационных источников с усилиями от 2 – 3 тонн, в том числе для работы в скважинах и на значительных уклонах местности. Развитие многоволновой сейсморазведки на основе монотипных поперечных волн, возбуждаемых трехкомпонентными вибрационными источниками. Первые работы в этом направлении оказались успешными. Следует их продолжить, выбрав для этого район и задачи, которые позволили бы наиболее рельефно показать перспективы и достоинства этого направления вибрационной сейсморазведки. Повышение производительности работ было и остается одной из актуальных задач сейсморазведки. За рубежом она решается путем работы двух и даже трех групп вибраторов на одну расстановку сеймоприемников. Следует рассмотреть особенности этой технологии со всеми ее достоинствами и недостатками и оценить перспективы ее

применения в отечественной сейсморазведке. Особенностью вибрационной сейсморазведки является возможность управления параметрами регистрируемых волн. На этом принципе был предложен ряд решений, получивших название «адаптивная вибрационная сейсморазведка». Однако это направление в силу ряда причин не получило широкого развития. Целесообразно вернуться к нему, разработав современный автоматический комплекс, позволяющий в процессе полевых работ оптимизировать параметры управляющих сигналов из условия наилучшего соответствия характеристик полезных волн решаемым задачам по разрешенности и интенсивности получаемых записей.

Второе направление развития вибрационной сейсморазведки мы связываем со следующими исследованиями. Использование нелинейных компонент вибросейсмических волновых полей для получения дополнительной информации о строении среды и прогноза наличия/отсутствия углеводородов в разрезе отложений. «Прямые поиски» углеводородов были и остаются одним из актуальных направлений современной геофизики. Несмотря на определенные положительные результаты, эта проблема далека от завершения. Обусловлено это рядом причин и в первую очередь ее сложностью и разнообразием изучаемых, оцениваемых объектов. Одним из возможных решений этой проблемы является использование нелинейных явлений, возникающих при распространении волн в реальных, многофазных средах-коллекторах месторождений углеводородов, а также при возбуждении волн вибрационными источниками колебаний. При этом два положения являются основополагающими:

- наличие в пределах месторождений и резервуаров углеводородов областей и участков с нелинейными свойствами, которые обусловлены наличием пузырьков газа, которые способны менять свой объем и приводить к изменению физических свойства среды при прохождении сейсмических волн;

- образование гармонических составляющих волн (гармоник) при возбуждении волн вибрационными источниками колебаний.

Отсюда следует, что уровень нелинейности нефтегазонасыщенных пород выше, чем у вмещающих отложений, что должно приводить к появлению ряда фундаментальных признаков, характерных только для сред с нелинейными свойствами. А именно:

- взаимодействие, а не интерференция волн различного частотного состава;

- увеличение интенсивности волн с кратными по отношению к основной частотами;

- нарушение линейной зависимости между амплитудами излучаемых и регистрируемых колебаний.

Вибрационная сейсморазведка, в силу ее специфических особенностей, позволяет однозначно выделять волны с суммарными и разностными частотами, волны с кратными частотами и контролировать уровень возбуждаемых вибраторами колебаний. Эти возможности вибрационной сейсморазведки были

показаны экспериментально, однако в небольшом объеме. Представляется, что это направление должно получить большее развитие как одно из решений актуальной проблемы поиска и разведки месторождений углеводородов.

Далее, считаем необходимым вернуться к работам по кодовым импульсным последовательностям. Это обусловлено тем, что некоторые из них позволяют существенно уменьшить уровень корреляционных помех при сжатии виброграмм. Теоретически этот вопрос имеет решение, но его практическая реализация и доведение до промышленного применения требует проведения специальных работ.

Другим перспективным направлением вибрационной сейсморазведки является использование чисто гармонических колебаний в качестве управляющих сигналов. Теоретически показана возможность сжатия информации и выделения регулярных волн. Однако возможности этой модификации вибрационной сейсморазведки не ясны. Использование ее позволит несколько упростить конструкцию вибраторов и систему контроля за их работой, повысить уровень подавления волн-помех и оценить возможность выделения в разрезе слоев, резонирующих на разных частотах, что может привести к повышению эффективности вибрационной сейсморазведки.

Вибрационная сейсморазведка будет развиваться и совершенствоваться. Это влечет за собой, обусловленное необходимостью решения все более сложных задач в условиях урбанизации страны, заботе о сохранении экологии среды и повышении уровня безопасности работ, все более ограничивающих применение взрывчатых веществ для возбуждения сейсмических волн. Весь вопрос, как будет происходить этот процесс.

Возможны два сценария.

Первый — спокойный, который будет основываться на восприятии зарубежных технологий и использования их по мере поступления в наши геофизические организации. Можно смело сказать, что сейчас он происходит у нас в условиях, когда геофизические организации получают средства практически только на проведение производственных работ и соответствующую обработку материалов.

Второй — интенсивный, который будет предусматривать проведение теоретических, экспериментальных и опытно-методических работ, нацеленных на развитие и совершенствование вибрационной сейсморазведки, создание и опробование новых технологий и методов. Это позволит повысить эффективность метода и приведет к новым решениям и открытиям, но нужны средства, выделенные на проведение именно таких работ. Наиболее реальный путь их получения — включение работ в программу Министерства с соответствующим финансированием. Возможны также и другие решения, основанные на заинтересованности частных фирм в развитии и совершенствовании вибрационной сейсморазведки.

Будем рассчитывать на успешное преодоление этих трудностей.