

Наземная невзрывная сейсморазведка - сейсморазведка XXI века

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

Возбуждение колебаний является основой основ сейсморазведки, так как без него нет волн, нет сейсмограмм-записей, нечего обрабатывать и нет подземного изображения среды.

Правда, известны и получили определенное применение методы и технологии изучения особенностей сред, основанные на регистрации волн от землетрясений, промышленных взрывов, действующих механизмов, например, бурового долота при проходке скважин, а также от собственных и вызванных тектонических подвижек, происходящих в пределах месторождений. Но эти методы решают, как правило, частные задачи, не заменяя сейсморазведку в качестве основного метода изучения строения земных недр, поиска и разведки полезных ископаемых.

Исторически сложилось так, что взрывы конденсированных зарядов взрывчатых веществ и их модификаций были до определенного времени единственным и наилучшим способом возбуждения упругих колебаний в наземной сейсморазведке. До сих пор бытует мнение, что взрыв является наилучшим способом генерирования волн. Отдавая должное взрывному возбуждению колебаний, необходимо отметить, что он обладает целым рядом существенных недостатков, которые заставили в свое время искать другие, более безопасные и экологически чистые невзрывные способы возбуждения волн.

По этому пути пошла морская сейсморазведка, в которой невзрывное возбуждение стало нормой, а взрывное - редким исключением.

Можно с большой долей уверенности говорить о том, что по такому же пути пойдет и наземная невзрывная сейсморазведка. Уже сейчас объемы невзрывной и взрывной сейсморазведки при работах на нефть и газ сопоставимы.

Не останавливаясь на достоинствах и недостатках каждого из способов генерирования волн, которые хорошо известны [1], отметим, что заказчиком и производителем работ приходится по целому ряду причин (экология, техника безопасности, наличие наземных и подземных сооружений и коммуникаций и др.) все чаще и чаще отказываться от взрывного возбуждения колебаний и переходить на невзрывное. Кроме того, современная практика работ показывает, что при невзрывном возбуждении возможно получение высококачественных материалов, обеспечивающих решение сложных задач поиска и разведки месторождений углеводородов, а также их прогнозирования по динамическим и спектральным особенностям зарегистрированных волн. Этому способствует высокий теоретический, технический и методический уровень современной невзрывной сейсморазведки: наличие весьма эффективных источников и приемников колебаний, регистрирующих систем и программного обеспечения, обеспечивающего обработку, визуализацию и интерпретацию материалов при небольших исходных отношениях сигнал/помеха.

Все это позволяет авторам говорить о том, что наземная невзрывная сейсморазведка имеет хорошие перспективы своего развития и в последующие годы может стать основным методом изучения земных недр, поиска и разведки полезных

ископаемых и, в первую очередь, месторождений нефти и газа.

А что же сейчас?

Вибрационная сейсморазведка уже получила определенное применение при глубинных и региональных работах и широко используется на всех стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ. Отметим, что "второе дыхание" обретает импульсная невзрывная сейсморазведка на основе использования новых, относительно недорогих электромеханических источников колебаний. Особенно эффективными они оказались при работах ВСП, а также при поисковых и детальных исследованиях в благоприятных сейсмогеологических условиях и глубинах залегания целевых горизонтов до 2,5-3,0 км. Сейсморазведка с импульсными невзрывными источниками в рамках своих возможностей имеет хорошие перспективы при работах на углеводородное сырье, а в малоглубинных исследованиях трудно найти альтернативу таким простым и недорогим источникам колебаний.

Тема номера журнала - вибрационная сейсморазведка. В этом обзоре мы остановимся на следующих основных областях применения вибрационных источников: глубинные и региональные исследования, поисково-разведочные работы и нетрадиционные технологии.

Глубинные и региональные исследования

До самого последнего времени считалось, что для возбуждения, устойчивого выделения и прослеживания волн от поверхности фундамента и более глубоких границ раздела необходимы взрывы больших зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Многолетняя практика ГСЗ и региональных работ подтверждала этот тезис. Тем более, что в свете существовавших ранее методических решений регистрация глубинных волн проводилась на больших удалениях (сто и более км) от соответствующих пунктов взрыва. Казалось естественным, что при таких выносах требуются заряды ВВ большой массы и перспективы невзрывной технологии невелики. Однако, и тогда имелись интересные данные, указывающие на определенные возможности невзрывной сейсморазведки при глубинных исследованиях. Так, многолетний опыт эксплуатации 100 - тонного вибратора на полигоне Сибирского отделения Академии Наук под Новосибирском показал, что возбуждаемые им предомленные и отраженные волны от глубоких границ раздела устойчиво прослеживаются на удалениях до 300-400 км, правда в режиме синхронного накопления длительных посылаемых в землю сигналов.

Перспективы и возможности использования вибрационных источников колебаний при глубинных и региональных исследованиях существенно возросли с переходом на регистрацию отраженных волн по технологии метода многократных перекрытий МОВ-ОГТ.

Эта технология имеет следующие особенности:

- относительно небольшие расстояния между пунктами возбуждения и приема колебаний, что повышает абсолютный уровень глубинных волн и отношение сигнал/помеха;
- широкое использование современных аппара-

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ТЕМАТИЧЕСКИМ ОБЗОР





турных и методических средств по усилению полезных сигналов и подавлению помех (группирование источников и приемников колебаний, синхронное накопление воздействий, высокая кратность наблюдений и суммирование сигналов по способу ОИТ, оптимизация параметров управляющих сигналов с учетом частоты и относительной интенсивности регистрируемых целевых волн).

Такая технология работ получила применение в нашей стране и к настоящему времени выполнена значительные объемы работ. В частности, пересечение Южного Урала и прилегающих территорий (программа и профиль "Уралсейс"), региональный профиль через северную вершину Русской платформы, профиль в Восточной Сибири и др. Опыт этих работ оказался успешным, так как он показал возможность использования вибраторов для освещения строения осадочной толщи отложений, прослеживания фундамента и, на отдельных участках, поверхности Мохоровичича. Кроме того, в результате этих работ получены дополнительные данные о строении земной коры в целом.

В качестве примера приведем краткие сведения о работах по профилю "Уралсейс" [2]. Методика полевых наблюдений была выбрана по результатам опытных исследований, которые предусматривали опробование различных параметров возбуждения колебаний в рамках возможностей вибрационной сейсморазведки (число источников в группе и ее протяженность, число накоплений, параметры управляющего сигнала) и выбор других оптимальных параметров. Кроме того, были уточнены параметры регистрирующей системы и группирования сейсμοприемников. В результате профиль протяженностью 500 км был отработан по следующей методике:

- источники колебаний - 4-5 излучателей СВ-10-180 с пиковым усилием 10 т;
- база группы вибраторов 50 м;
- параметры управляющего сигнала (свипа) - частоты, на отдельных участках:
 - профиля 8-60 Гц, 10-64 Гц, 10-72 Гц;
 - длительность - 30 с;
- система наблюдений - центральная, шаг между ПВ - 100, 150, 200 и 250 м;
- вынос - 9 км;
- прием колебаний - расстояние между центрами групп - 50 м, база группы 50 м;
- количество приборов в группе 12;
- кратность наблюдений - 90-36 в зависимости от шага между ПВ;
- время регистрации 55 с.

Выбранная методика работ обеспечила получение записей отраженных волн различного качества и прослеживаемости, которые в большей степени обусловлены особенностями района и изучаемой средой, а не какими-либо погрешностями выбранной методики полевых работ. Так например, на отдельных участках профиля четко выделяются волны, отнесенные к поверхности Мохор на временах до 15 с. Обеспечить же непрерывное прослеживание этих волн не удалось. По полученным записям были построены временные и глубинные разрезы, которые были использованы для интерпретации и геолого-геофизического анализа материалов.

Профиль "Уралсейс" был также отработан и с взрывами зарядов ВВ массой 80 кг в скважинах глубиной ≥ 30 м, но при меньшей кратности наблюдений. Полученные материалы были обработаны, построены соответствующие разрезы. Авторы работ [3] дают следующую сравнительную

характеристику вибро- и взрывным материалам. По разрешенности и детальности верхней части разреза (выше поверхности Мохор) предпочтение следует отдать вибрационным материалам, в то время как в области Мохор и нижней части коры взрывные материалы оказались лучше. Соглашаясь с мнением авторов, следует отметить, что работы на этом профиле были выполнены с десятичными вибраторами, которые в сегодняшней классификации относятся к источникам средней мощности. Можно предположить, что использование вибраторов большой мощности с усилиями 20-23 т позволило бы получить более информативные материалы, превосходящие материалы взрывной сейсмики. Такие вибраторы имеются у производственных геофизических организаций, и практика работ с ними показывает, что они позволяют получать более насыщенные глубинные разрезы, хотя характер материалов также прерывистый, что видимо, отражает специфику и изучаемых сред.

Поисково-разведочные работы

В комплексе работ по картированию границ раздела в осадочной толще отложений, поиску и разведке месторождений углеводородов вибрационная сейсморазведка занимает значимое место. В настоящее время отсутствуют опубликованные данные по объемам работ, которые выполняются с применением вибрационных источников колебаний, но можно с большой долей уверенности говорить о том, что они приближаются или равны 40 - 45% от общих объемов сейсморазведочных работ на нефть и газ. Это подтверждается тем, что целый ряд крупных геофизических организаций в силу разных причин полностью отказал от использования взрывчатых веществ для возбуждения колебаний в сейсморазведке. Резко возросшее качество вибрационных источников, цифровые системы по управлению и контролю за их работой, цифровые регистрирующие устройства в сочетании с современными методиками полевых работ, обрабатываемыми системами, а также высоким уровнем специалистов, обеспечили получение качественных первичных и результирующих материалов, не уступающих итоговым данным взрывной сейсмики. Более того, в достаточно большом числе случаев только применение вибрационных установок обеспечивает получение качественных сейсмических записей, позволяющих решать сложные поставленные задачи. Есть, однако, и противоположные примеры.

За годы применения вибрационной сейсморазведки сформировались общие и частные подходы к выбору и обоснованию методики полевых работ и обработки материалов. Не очень быстро, но идет модернизация и совершенствование технических средств, методики и технологии работ. Эти процессы сдерживаются резким сокращением объемов опытно-методических работ, так как геофизические организации-исполнители чаще всего не имеют собственных средств для их проведения. Во многих случаях и заказчики не финансируют эти затраты, рассчитывая на имеющийся зарубежный аппаратный и методико-технический опыт и уровень работ. В результате опытно-методические работы или не проводятся вообще, или выполняются в незначительных объемах, неся дежурный характер. Все это отрицательно влияет на развитие отечественной сейсморазведки и ведет к ее отставанию от мирового уровня. По нашему мнению, такое положение с опытными работами недопустимо и требует кардинального изменения.

Тем не менее, в рамках общепринятой теории вибрационной сейсморазведки с учетом получае-

мых материалов, задач и условий проведения работ выработаны определенные стандарты методики полевых наблюдений, которые включают параметры управляющих сигналов и группирования, число источников в группе и накоплений, системы наблюдений и кратность и т.д. Повсеместно съемки ведутся методом ОГТ с кратностью, превышающей 24 при профильных наблюдениях. Как правило, частотный диапазон управляющих сигналов выбирается в полосе от 10-15 Гц до 90-110 Гц в зависимости от задач, целевых глубин, уровня поверхностных волн и других помех. Управляющий сигнал длительностью до 10 с, линейный или нелинейный, для подъема высоких частот. Более длительные сигналы себя не оправдывают из-за снижения производительности работ, замедления роста отношения сигнал/помеха и собирания шумовых помех профиля. При высоком уровне помех более эффективно или увеличение числа установок, или переход на работу в тихое время суток. Число накоплений на точке редко превышает 8-10. Количество одновременно работающих на точке вибраторов равно 3-4, редко 5. Один вибратор держится в резерве. Непременным условием проведения работ является контроль качества каждого воздействия каждым вибратором. Тестирование производится с помощью специальной аппаратуры и регистрируется на пленке для последующих анализа и заключения о работе вибраторов. Начальная обработка материалов - корреляция полученных виброграмм с посылаемым в землю сигналом проводится, как правило, в поле на сейсмостанции. В качестве сигнала корреляции берется электрический аналог управляющего сигнала. Корреляция в поле снижает нагрузку на вычислительный центр, но ограничивает возможности производителя работ по улучшению качества материалов за счет оптимизации параметров сигнала-корреляции, а также исключает применение ряда новых технологий. Некоторые из них будут рассмотрены далее. В этой связи авторы считают, что часть полевых записей вообще не следует коррелировать в поле, а нужно передавать на вычислительный центр в виде виброграмм для последующей обработки и анализа. Особенно это актуально при проведении опытных работ, разработке новых технологий и для уточнения сигнала корреляции при использовании нелинейных управляющих сигналов.

Особенностью вибрационной сейсморазведки является знание посылаемых в землю сигналов и определенная зависимость спектральных характеристик регистрируемых волн от средней частоты управляющего сигнала. Это позволяет направленно выбирать его параметры, учитывая требуемую разрешенность записей, характер решаемых задач и частотный состав регистрируемых волн. На этом основана "адаптивная вибрационная сейсморазведка" [4] и некоторые способы выбора нелинейных управляющих сигналов.

Последние годы характеризуются увеличением объемов работ по пространственным системам наблюдений, сейсморазведка 3D и 4D, которые характеризуются высокой плотностью наблюдений и возможностью проведения работ в промышленных и культурных зонах. В этой связи роль и объемы вибрационной сейсморазведки будут существенно возрастать, особенно при повторных съемках 4D на месторождениях, в пределах которых применение взрывчатых веществ для возбуждения колебаний полностью исключено. При работах 3D и 4D особенно актуальным является повышение производительности и, как следствие, снижение себестоимости работ. В этом

направлении вибрационная сейсморазведка обладает определенными возможностями, так как она позволяет реализовать режим одновременной работы двух или более групп вибраторов на одну расстановку сейсмодатчиков. Разделение записей производится в процессе обработки данных на вычислительном центре по специальным программам. Такая технология повышает производительность полевых работ, но требует дополнительного числа вибраторов, специального оборудования и обученного технического персонала. Известно несколько модификаций этой технологии. Первая и самая старая из них основана на использовании встречных по частоте управляющих сигналов и изменении полярности одного из них в процессе накопления сигналов [1]. Она была опробована при работах ВСП и профильных наблюдениях ОГТ. Конечные монтажи сейсмограмм ВСП и временные разрезы по качеству практически не отличались от стандартных. Однако практического применения эта модификация не получила. Другой способ повышения производительности работ получил название "скользящий свип, slip - sweep" [5]. Эта технология была успешно применена при работах на Среднем Востоке, в пустынных районах, благоприятных для быстрого перемещения источников с пикета на пикет. Ее суть заключается в том, что интервал времени между последующими воздействиями разных групп вибраторов выбирается равным временной глубине разведки, как правило 4-5 секунд. Сигналы с разных пунктов возбуждения принимаются одной расстановкой сейсмодатчиков и заносятся на станции в память большого объема. Так как частота посылаемых в землю сигналов меняется с определенной скоростью, то записи последующих воздействий будут отличаться по частоте от предыдущих из-за временного сдвига между ними. Для разделения записей суммарная виброграмма коррелируется с исходным управляющим сигналом, но каждый раз с известным временным сдвигом, что и позволяет разделить записи и получить корелограммы с каждого пункта возбуждения. Следующий способ повышения производительности работ основан на использовании фазо-кодированных управляющих сигналов [5]. Вибраторы на двух или более пунктах взрывов возбуждают сигналы, сдвинутые по фазе на определенную заданную величину, например 45 или 60 градусов. Знание фазового сдвига позволяет рассчитать оптимальный фильтр, который разделит записи с каждого пункта возбуждения. Эта технология заслуживает внимания и полевого опробования, но пока отсутствуют сведения о ее практическом применении.

Нетрадиционные технологии вибрационной сейсморазведки

Основное внимание при развитии теории и практики вибрационной сейсморазведки уделялось возбуждению колебаний, повышению отношения сигнал/помеха, расширению спектрального состава регистрируемых волн, увеличению глубинности метода и др. Процессы, происходящие в среде при передаче нагрузок грунту и при распространении волн в толще пород, оставались, как правило, вне поля зрения сейсморазведчиков. Однако в последние годы этим вопросам стали уделять большее внимание. В результате теоретических и экспериментальных работ было показано, что колебания, возбуждаемые вибрационными источниками, несмотря на их небольшую интенсивность, оказывают заметное влияние на углеводородосодержащие пласты и приводят к образованию нелинейных явлений,



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕМАТИЧЕСКИМ ОБЗОР



ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

которые проявляются в образовании волн с кратными, разностными и суммарными частотами, соответственно волны гармоник и волны взаимодействия. Последние образуются при взаимодействии двух и более гармонических или квазигармонических колебаний. На основе этих явлений различаются и получили определенное практическое применение два новых направления вибрационной сейсморазведки.

Первое из них связано с нелинейными явлениями, возникающими при возбуждении волн и их распространении в сложных многокомпонентных средах месторождений углеводородов [4]. Исходные причины нелинейности обусловлены физическими свойствами реальных тел, приближенностью в связи с этим закона Гука, а также особенностями конструкции вибрационных источников. Они заключаются в том, что инерционная масса вибратора в процессе излучения колебаний свободно перемещается относительно своего центрального положения на величину до 5-7 см, а смещения связанных с ней поршня и плиты ограничены сопротивлением грунта и составляют всего несколько миллиметров. Такой дисбаланс приводит к искажению формы возбуждаемых колебаний и образованию волн-гармоник с кратными частотами. Эти волны распространяются в земле, и их регистрация на поверхности земли позволяет увидеть разрез в смещенной, кратной полосе частот. Наиболее значима для сейсморазведки вторая гармоника, что позволяет до полутора раз повысить частотный состав регистрируемых отраженных волн и разрешенность регистрируемых волн. Технология работ с использованием вторых гармоник опробована в ряде районов и везде показано наличие подобных волн и возможность построения разрезов повышенной разрешенности. Определенными ограничениями технологии являются отказ от корреляции виброграмм в поле и повышенное затухание высокочастотных составляющих волнового поля, что ограничивает глубинность исследований.

Теоретические и экспериментальные работы последних лет показывают, что двух и трехфазные среды, содержащие углеводороды обладают нелинейными свойствами. Одной из причин этого является наличие в них пузырьков газа, которые под действием внешних, даже очень небольших, нагрузок деформируются и изменяют физические свойства коллектора. Из этого следует, что уровень нелинейности нефтегазонасыщенных пород должен быть выше, чем у вмещающих пород, содержащих воду практически без газовых включений. Основываясь на этом, можно предположить, что при проведении сейсморазведочных работ в пределах месторождений углеводородов следует ожидать проявления целого ряда нелинейных явлений, а именно:

- изменение частотного состава волн и уровня гармоник;
- образование волн взаимодействия с разностными и суммарными частотами при облучении залежи разными по частоте гармоническими или квазигармоническими колебаниями;
- нелинейная зависимость между уровнем возбуждаемых колебаний и амплитудами отраженных волн.

Очевидно, что обнаружение нелинейных свойств среды возможно на основании достаточно точных и достоверных методов анализа, который характерен для вибрационной сейсморазведки. Поэтому только на ее основе возможно выделение эффектов, обусловленных нелинейными свойствами

ми нефтегазосодержащих пород. Опытные методические работы, выполненные на известных месторождениях, подтвердили обоснованность, что в пределах контура месторождений показались изменения динамических параметров волн (частоты и амплитуды), а также уровня гармоник.

Второе новое направление применения вибраторов связано с активизацией применения с помощью вибровоздействий, производимых на поверхности земли у устья скважин. В процессе распространения волн определенной частоты через резонансные явления, которые приводят к раскрытию трещин в пласте-коллекторе и как результат повышение нефтеотдачи [6]. Эта технология успешно опробована на ряде месторождений России и других стран, обеспечив прирост добычи нефти.

Заключение

Вибрационная сейсморазведка, предложенная первоначально как альтернатива импульсному возбуждению волн, за последние годы получила широкое развитие и применение, заняв одно из первых мест в общем комплексе геолого-разведочных работ. Возможности этого метода геофизики еще далеко не исчерпаны и следует ожидать новых открытий и нестандартных решений, базирующихся на особенностях вибрационной сейсморазведки. Анализируя ее современное состояние и перспективы дальнейшего развития, можно очертить круг первоочередных задач, требующих своего решения:

1. Создание новых эффективных образцов вибрационных источников колебаний, способных возбуждать продольные и поперечные волны различной поляризации, и на их основе развитие многоволновых методов изучения сред, поиска и разведки полезных ископаемых;
2. Автоматизация выбора параметров управляющих сигналов, адаптированных к задачам и условиям проведения работ, а также к изменениям поверхностных отложений и качества получаемых записей;
3. Разработка новых технологий, направленных на повышения качества и производительности работ, в первую очередь, при съемках 3D и 4D;
4. Развитие и продолжение работ по применению и опробованию нестандартных технологий вибрационной сейсморазведки (нелинейные явления, вибровоздействия для прироста добычи и др.);
5. Увеличение объемов теоретических и экспериментальных, полевых работ, направленных на совершенствование и развитие метода.

Литература

1. Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки / Под редакцией М.Б. Шнейерсона - М.: "Издательство "Недра", 1998.
2. Теория и практика полевого сейсмического эксперимента Уралсейс, Р.Г. Берзин, А.К. Сулейманов, Н.К. Юнусов, С.Н. Кашубин. В сб. "Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс)", Тверь: ГЕРС, 2001, с.13-21.
3. Обработка близвертикальных данных МОБ-ОПТ А.К. Сулейманов, Р.Г. Берзин, Т.В. Давыдова, А.П. Жуков В сб. "Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс)", Тверь: ГЕРС, 2001, с. 22-30.
4. Жуков А.П., Шнейерсон М.Б. Адаптивные нелинейные методы вибрационной сейсморазведки - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000.
5. Union HFVS with slip-sweep for improved spatial resolution and acquisition efficiency, J.M. Hufford, J. May, T.Brown, N. Pardue, J.W. Thomas, p 39-42, Expanded Abstracts. SEG, Dallas, 2003.
6. Садовский М.А., Абасов М.Т., Николаев А.В. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи. Вести АН СССР. 1986-№9 - с. 95-99.