УДК 550.232

П.В. КОНДРАТЕНКО
Санкт-Петербургский горный институт

СКВАЖИННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕВЫРАБОТАННЫХ УЧАСТКОВ НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Описаны скважинные геофизические компьютерные технологии для сейсмоакустического просвечивания межскважинного пространства с целью выявления невыработанных участков нефтяных залежей и дополнительного извлечения запасов углеводородов с помощью горизонтальных скважин или сейсмоакустического воздействия на нефтенасыщенные пласты. Высокая детальность исследований межскважинного пространства обеспечивается благодаря использованию скважинного электрогидравлического источника со «взрывной» проволочкой, имеющего широкий спектр излучений и высокое разрешение. Метод сейсмоакустической томографии позволяет получить высокоточные скоростные разрезы изучаемой среды. Предложенные технологии могут быть использованы для исследования подземного пространства при инженерных изысканиях и других целей.

The author describes borehole geophysical computer technologies for seismoacoustic study of inter-hole space with the purpose of revealing the unexploited sites of oil pools and additional extraction of reserves of hydrocarbons with the help of horizontal holes or seismoacoustic influence on oil-bearing layers. High detail of space inter-hole researches spaces is provided due to use of the electrohydraulic source with the explosive delay, having a wide spectrum of radiations and the high resolution of the used equipment. At the decision of problems, the method of seismoacoustic tomography is used, allowing to receive precisise high-speed cross of the investigated environment. The suggested geophysics technologies may be used for studying underground space for engineering and other purposes.

На фоне постоянного спада добычи нефти в России, обусловленного сокращением объемов геолого-разведочных работ, снижением темпов прироста запасов, уменьшением объемов бурения, снижением дебита нефтяных скважин и выработкой залежей многих эксплуатирующихся месторождений, поиск новых эффективных методов интенсификации режима работы скважин нефтегазовых месторождений и повышения извлекаемых запасов является особенно актуальным. Возможны следующие пути решения проблемы: резкое повышение коэффициента извлечения углеводородов из эксплуатируемых пластов и месторождений, вовлечение в разработку разветвленно-горизонтальными скважинами целиков нефти, ввод в разработку верхних горизонтов, в том числе содержащих вязкие нефти и битумы.

Определение пространственного положения целика нефти с целью возможного его вскрытия горизонтальными скважинами можно решить межскважинным сейсмоакустическим просвечиванием с применением сейсмоакустической томографии. С помощью сейсмотомографии можно решать следующие поисково-разведочные и инженерно-геологические задачи:

- детальное изучение скоростного разреза для целей вертикального сейсмопрофилирования (ВСП) и метода общей глубинной точки (МОГТ);
- детальное изучение структурно-тектонического строения массива горных пород;
- оценка физико-механического состояния массива пород;
- выявление карстово-суффозионных, трещиноватых и ослабленных зон;

• выявление и прослеживание отдельных нефтегазовых залежей неантиклинального типа;

• изучение контура, геометрии и строения залежи.

Кроме того, сейсмотомография может быть использована при освоении и эксплуатации месторождений для следующих целей:

• прогнозирование оптимального заложения наклонных и горизонтальных скважин;

• прогнозирование и контроль гидроразрыва пласта;

• уточнение строения ловушки, контура залежи;

• определение положения фронта горения при добыче нефти и других полезных ископаемых с использованием процесса внутрипластового горения;

• контроль выработанного пространства при гидродобыче твердых полезных ископаемых;

• мониторинг разработки месторождений.

Наибольшее практическое применение для решения различных геологических задач в настоящее время нашли методы трансмиссионной (лучевой) сейсмотомографии, несмотря на ее определенные, связанные с лучевой теорией распространения сейсмических волн, ограничения. Методы лучевой сейсмотомографии значительно лучше развиты как в технологическом, так и математическом аспекте. Они достаточно широко применяются как в двухмерных, так и в трехмерных измерениях.

Многочисленны также примеры применения метода трансмиссионной сейсмотомографии для решения широкого спектра задач в инженерной, рудной и нефтегазовой геологии. Особого внимания заслуживают методы межскважинной сейсмотомографии, в силу определенных методических, технологических и аппаратурных возможностей значительно повышающие разрешающую способность лучевого метода за счет увеличения частотного и динамического диапазонов, возбуждаемых и принимаемых сейсмических волн.

Метод сейсмотомографии основан на восстановлении распределения значений скорости упругих волн, коэффициентов поглощения в среде посредством сейсмического «просвечивания» среды и специальной численной обработки результатов просвечивания. Сейсмотомография позволяет получать детальное изображение неоднородностей среды, в частности с высокой точностью (до 1 м) картировать разрывные нарушения и структурные элементы. В сейсмической томографии, как и в сейсморазведке, выделяют наземную и скважинную сейсмотомографию. Наземная основана на изучении отраженных волн по годографам однократного и многократного профилирования, а также на изучении головных и рефрагированных волн по годографам метода преломленных волн. Наиболее широкое распространение получил метод скважинной сейсмической томографии (МССТ), который от наземных модификаций отличает следующее:

• использование прямых проходящих, а не отраженных или другого типа волн, которые в ряде случаев трудно выделить на волновом поле;

• возможность избежать неоднозначности, связанной с необходимостью определения глубины до границ отражения и преломления;

• практически полный охват лучевыми траекториями неоднородностей;

• оценка не только физических свойств, но и литологии разреза по амплитудной информации с распределением коэффициентов поглощения в межскважинном пространстве и учетом кинематических параметров;

• возможность изучать массив пород с помощью пакетов обрабатывающих программ МССТ не только в двухмерной плоскости, но и в объеме массива.

Параметры систем наблюдений (шаг приема, шаг возбуждения), применяемых в сейсмотомографии, определяется, в основном, теми же критериями, что и в методе ВСП. Необходимо отметить, что в сейсмотомографии трехкомпонентная регистрация сейсмического волнового поля является обязательной, поскольку траектория лучей

имеет самое различное направление. Изучение траектории движения частиц среды, параметров поляризации волн, а также выделение и изучение различных объемных волн значительно расширяет геологические возможности метода сейсмотомографии.

Положительный опыт решения различных геологических задач методом сейсмотомографии для верхних частей разреза в нефтегазовой геологии является предпосылкой эффективного применения МССТ для решения «тонких задач» в условиях месторождений нефти и газа.

В последние годы на многих нефтегазовых месторождениях России в силу значительной выработанности запасов из основных нефтегазовых комплексов, высокой обводненности и других факторов для поддержания добычи нефти и газа весьма актуальна проблема внедрения и освоения прогрессивных технологий разработки и эксплуатации месторождений, особенно со сложным геологическим строением и осложненными условиями распределения углеводородов. Поэтому все большее значение приобретают геофизические методы, обеспечивающие детальное и объемное изучение околоскважинного и межскважинного пространства, выявление целиков нефти, контуров заводнения залежей и др. В скважинах применяются пьезокерамические, магнитострикционные и электрогидравлические преобразователи. Наиболее перспективным по частотному диапазону излучаемой энергии, длительности и форме импульса, возможной глубине погружения в скважину является источник с электрогидравлическим излучателем, основанный на эффекте «взрывной» проволочки.

Нами предложен и реализован компьютеризированный аппаратурно-методический геофизический комплекс, позволяющий методом скважинного сейсмоакустического просвечивания и компьютерной томографии обеспечить построение пространственной, объемной математической модели участка (площади) месторождения и определить объем невыработанной залежи с целью дополнительного извлечения углеводородов из пространства, охваченного разветвленно-горизонтальными скважинами.

Аппаратурно-методический геофизический комплекс состоит из скважинного управляемого источника упругого излучения на основе электрогидравлического со «взрывной» проволочкой излучателя, создающего упругие импульсы с широким частотным спектром, спускаемого в скважину на геофизическом кабеле с помощью каротажного подъемника. Энергия такого скважинного источника упругих колебаний не зависит от глубины его погружения в скважину и эквивалентна примерно 20 г тротила. Полоса излучаемых частот упругих колебаний 0,1-1000 Гц.

Прием сигналов производится в соседних скважинах поочередно с помощью скважинного прибора ВСП (аппаратура АМК-ВСП, разработчик ВНИИГИС) чувствительностью 1 мкВ в полосе частот 10-1000 Гц. При необходимости увеличения дальности приема применяется накопление сигнала.

Методика проведения работ заключается в поточечных измерениях скорости и амплитуды распространения вдоль трассы продольных и поперечных волн при перемещении скважинных источника и приемника в заданном интервале глубин, в компьютерной обработке данных измерений в наземной аппаратуре и построении модели залежи.

Пространство с повышенной остаточной нефтенасыщенностью может быть вскрыто разветвленно-направленными скважинами из скважин старого фонда или обработано методами скважинного воздействия на продуктивный пласт с целью извлечения дополнительных запасов углеводородов.