

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДЧНОГО АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрены современные тенденции в развитии аппаратурно-программного комплекса на примере аппаратуры и программного обеспечения, разрабатываемых и выпускаемых компанией «Феникс Джеофизикс». Компания занимает значительную часть мирового рынка электроразведочной аппаратуры и является своеобразным законодателем мод в этой области. Особенно значительна доля мирового рынка, занимаемая компанией в области многофункциональной регистрирующей (приемной) аппаратуры АМТЗ/МТЗ, способной реализовать подавляющую часть наземных электроразведочных методов (около 90 %), и электроразведочных генераторов средней, большой и супербольшой мощности. Изменение ключевых параметров трех поколений многофункциональной электроразведочной регистрирующей аппаратуры, разработанной компанией с 1981 по 2003 г. (23 года), показывает, что уровень прогресса для этого класса аппаратуры составляет примерно 10 % в год роста производительности труда. Как показано в статье, пятое поколение многофункциональной электроразведочной аппаратуры не только значительно сократило затраты, увеличило производительность и точность работ, но и расширило круг решаемых задач, а также внесло коррективы в удельный вес в применении отдельных электроразведочных технологий при решении различных геологических задач.

Tendency of the development electroprospecting hardware and software has been discussed by example of company «Phoenix Geophysics». The company takes big part of world market of electroprospecting equipment, it is well known by implementing new ideas in hardware and software development. The biggest part of world market belongs to the company in multifunctional receivers, which can realize AMT/MT as well as biggest part of ground electroprospecting methods (around 90 %). Also «Phoenix Geophysics» is well known for current sources (transmitters) of middle, big and super big power. Analyses of the key parameters of three generations of multifunctional recording equipment, which has been developed by company from 1981 till 2003 (23 years) shows what the level of the progress for this kind of equipment is about 10 % per year in increasing productivity. The paper shows that fifth generation of multifunctional electroprospecting equipment not only dramatically reduces the cost of field survey, but also increases productivity and data accuracy as well as makes wide number of tasks, which can be solved by electroprospecting. This equipment also changes proportions in different electroprospecting methods applied for solving different geological tasks.

Для базового прогноза развития аппаратурно-программного электроразведочного комплекса на ближайшее будущее можно использовать количественные оценки. При-

мерно 90 % всех затрат на геофизические работы приходится на поиски и разведку залежей углеводородов. Макроэкономические и геополитические силы, вовлеченные

в поставки углеводородного сырья и продуктов его переработки, а также потребители являются определяющими факторами развития и совершенствования геофизической аппаратуры и технологий ее применения.

Потребности в нефти составляют примерно 80 млн баррелей в день (29 млрд баррелей в год или  $4,65 \text{ км}^3$ ). Ежегодно потребление углеводородного сырья увеличивается примерно на 1,5 %. В последние годы определяющим фактором является быстрый рост потребления нефти и газа в Китае и Индии. На сегодняшний день, как и на ближайшие примерно 20 лет, нет адекватной замены углеводородного сырья другими источниками энергии. Запасы углеводородного сырья распределены в мире крайне неравномерно, значительная их часть, особенно нефти, сосредоточена в районе Персидского залива. И расположенные здесь страны стараются сдерживать поисково-разведочные работы в других районах мира, чтобы не утратить свои позиции в экспорте.

Известные месторождения в процессе эксплуатации постепенно истощаются и, если им не найдена адекватная замена, страны-экспортеры нефти и газа становятся странами-импортерами. Так случилось с США, которые до 1960 г. являлись экспортером нефти, а сейчас импортируют больше половины нефти, необходимой для внутреннего потребления, или примерно 15 % от общемировой добычи. Китай стал импортером нефти в 1996 г. и сейчас проводит политику расширения поисков нефти в перспективных районах земного шара, чтобы диверсифицировать импорт и, возможно, снизить цену.

Большие и сравнительно легкие открытия в области углеводородов были сделаны относительно давно, и сейчас поисково-разведочные работы приходится проводить в более тяжелых условиях: больший интервал глубин; более глубоководные части океана; арктические широты, горные районы, малоразвитые районы с практически отсутствующей инфраструктурой. Все это требует быстрого совершенствования геофизических приборов и технологий.

К счастью, параллельно с этими процессами происходит быстрая эволюция

электроники и микропроцессоров, которая позволяет постоянно совершенствовать геофизическую аппаратуру и технологии поиска и разведки. Таким образом, несмотря на значительный рост потребления нефтепродуктов в последние 50 лет, мир имеет разведанные запасы, которых хватит еще на 40 лет при сохранении нынешнего уровня потребления. Можно быть уверенным, что благодаря совершенствованию техники и технологий эти запасы удастся растянуть во времени, а также пополнить с использованием более совершенных технологий поиска и с учетом роста цены на этот вид сырья.

Россия является одной из немногих стран, способной не только существенно повысить добычу углеводородного сырья, но даже увеличить его экспорт. Россия уже сейчас снабжает газом значительную часть Западной Европы. Через территорию России проходит огромная часть экспорта углеводородного сырья из стран Центральной Азии и Прикаспийского региона. Доходы от экспорта углеводородного сырья очень важны для экономики России в краткосрочном развитии экспорта, так как в короткий период достаточно сложно перестроить другие отрасли экономики, чтобы производимые ими товары и услуги были конкурентны на мировом рынке, в частности, при серьезной конкуренции со стороны Китая, который раньше начал рыночные реформы. Экспорт сырья для России является тем локомотивом, который позволит накопить инвестиции для других отраслей и вывести эти отрасли на мировой уровень.

Поскольку Россия не является членом ОПЕК, представляется вполне понятным, что поставки углеводородного сырья и продуктов его переработки из России являются ключевыми, поскольку страны ОПЕК уже достигли своей максимальной ежедневной добычи (см. рисунок).

Ежегодные затраты на проведение геофизических работ оцениваются в 10 млрд долларов США, причем примерно 90 % этой суммы приходится на поиски и разведку углеводородов. Если принять как среднюю цену за баррель нефти 40 долларов США, то при нынешней ежегодной добыче

26·10<sup>9</sup> баррелей, цена добытой нефти составит примерно 10<sup>12</sup> долларов США. Общемировое ежегодное потребление природного газа составляет примерно 2,8·10<sup>12</sup> м<sup>3</sup>, цена этой продукции примерно 10<sup>12</sup> долларов США. Вся экономика США производит продукции на 10<sup>13</sup> долларов США. Таким образом, углеводородное сырье представляет существенную, но не определяющую часть экономики. Такие страны, как США и Япония, могут позволить себе и при существующих ценах импортировать необходимое количество углеводородов.

Определяющая часть затрат на геофизические работы идет на оплату труда. Капитальные затраты и амортизация геофизического оборудования составляют примерно 10 % от затрат на геофизические работы, или примерно 10<sup>9</sup> долларов США в год. Таким образом, отдача от затрат на геофизические работы равна 100:1. Это, конечно, очень упрощенный подход, так как существенную роль играют и такие факторы, как совершенствование добычи, переработки и транспортировка.

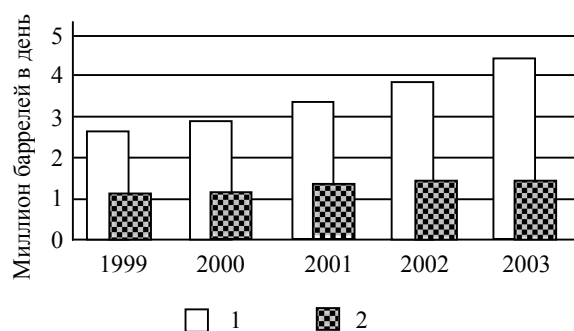
Из вышеприведенных рассуждений можно сделать следующие выводы:

1) требуемые ежегодные затраты на геофизическую аппаратуру и оборудование не существенны в макроэкономических масштабах;

2) результат, полученный с этой аппаратурой и оборудованием, очень существенен в макроэкономических масштабах;

3) углеводородное сырье составляет только 5 % от ежегодного продукта самой большой экономики мира – США; в то же время стоимость экспорта углеводородного сырья играет существенную роль в валовом продукте стран-экспортеров этого сырья (за исключением Канады).

Основные открытия залежей углеводородов принадлежат геофизике. Каждое новое открытие, как правило, обходится сейчас дороже, чем предыдущие. Поэтому большие нефтяные и газовые корпорации испытывают постоянное давление, заставляющее их вкладывать существенные средства в техническое совершенствование геофизического оборудования, привлечение



Российский экспорт сырой нефти (1) и нефтепродуктов (2) в 1999-2003 годах

дополнительных технологий. Хотя макроэкономический вес геофизического оборудования является несущественным (1:100), для микроэкономического геофизического контрактора он играет весьма существенную роль. Это связано с тем, что нефтяные и газовые компании создают высококонкурентную среду, требуя от контрактора постоянного снижения расценок за единицу работ и повышения результативности.

Чтобы количественно оценить совершенствование геофизической аппаратуры компания «Феникс Джеофизикс» внимательно проанализировала параметры трех поколений аппаратуры, разработанных ее инженерами в течение 23 лет. Сейчас хорошо известен логарифмический закон усовершенствований Мура, применимый к электронным микросхемам.

*Совершенствование электроразведочной аппаратуры за последние пять десятилетий.* За эти годы произошло существенное совершенствование электроразведочной аппаратуры (см. таблицу). Это привело к уменьшению массы и габаритов аппаратуры, числа и массы автомобилей, необходимых для ее перевозки, и численности персонала для обслуживания. Пятое поколение аппаратуры внесло существенный прогресс в электроразведочные работы благодаря высокому уровню автоматизации, небольшой массе, отсутствию проводной связи, возможности разделить 5- и 2-канальные приборы в пространстве, возможности составлять системы, не ограниченные по количеству синхронно работающих приборов, использованию GPS-синхронизации. Эволюция электроразведочных технологий приво-

дит к возможности количественно и качественно решать новые геологические задачи, наряду с прогрессом в решении традиционных задач.

**Пять поколений многофункциональной электроразведочной аппаратуры**

Поколение аппаратуры	Временной интервал	Краткая характеристика аппаратуры
1	1953-1970	Небольшие размеры, переносная, аналоговый прием, регистрация на фотобумагу, ручная обработка, аппаратура может монтироваться на автомобиле
2	1970-1980	Большая масса, монтируется на грузовом автомобиле, питание от бензоэлектрического агрегата, цифровая запись на магнитную ленту, вычисление функций отклика на ЭВМ
3	1980-1987	Цифровая запись на персональный компьютер, обработка в режиме реального времени, реализация помехоподавляющих работ с удаленной базовой точкой, питание от бензоэлектрического агрегата
4	1987-1996	Меньше по размерам, дешевле, производительней, переносная, питание от батарей, цифровая запись на встроенный компьютер с влагонепроницаемой клавиатурой, проводная связь с предусилителями каналов
5	1996 – настоящее время	Малогабаритная, масса прибора 4,5 кг, высокий уровень автоматизации, разделенные 2-, 3- и 5-канальные приборы, цифровая фильтрация, GPS-синхронизация, отсутствие проводной связи, возможность объединения в систему неограниченного числа приборов, цифровая запись на твердотельную память, питание от батарей

*Нефтегазопроисковые работы.* Электроразведка с новым поколением аппаратуры позволяет эффективно проводить работы в самых различных природных условиях, представляет дополнительные физические параметры, которые не могут быть получены из сейсмических данных. Электроразведочные технологии МТ/АМТ и другие могут эффективно применяться в труднодоступ-

ных для сейсморазведки районах: высокоомная верхняя часть разреза; неоднородная вечная мерзлота; горная местность; солянокупольная тектоника.

*Поиски рудных полезных ископаемых.* Модернизация АМТ/МТ-аппаратуры позволила западным горно-добывающим компаниям существенно увеличить глубинность поисков и разведки сульфидных руд. Этот процесс стартовал примерно в 1991 г. До этого на открытых участках Канадского щита поисковая глубина для методов с контролируемым (искусственным) источником ЭМ-поля была лимитирована глубинами 300-400 м, на покрытых ледниковыми отложениями участках, а также на склонах глубинность ограничивалась первой сотней метров. АМТ/МТ-технологии позволили увеличить глубину исследований до 2,5 км, т.е. примерно до предела экономически выгодной подземной разработки рудных тел.

Следует отметить, что горно-рудные компании не являются оптимальным примером того, как прогресс в геофизических методах может существенно повлиять на результативность и стоимость поисково-разведочных работ. Причиной является циклический характер работ этих компаний, ограниченный бюджет на разведку и еще меньший бюджет на исследовательские работы. Тем не менее МТ/АМТ-технология может успешно работать и в этих условиях.

Наиболее сложно вести поисковые работы на участках, покрытых ледниковыми осадочными отложениями, которые обладают низким по отношению к коренным породам удельным электрическим сопротивлением (10-30 Ом·м) и шунтируют отклик от глубоководных пород.

Следует особо отметить появление высокопроизводительной поисковой трехкомпонентной технологии. Она очень хороша для зимних работ или работ в условиях высокоомных пород, где трудно осуществить заземление электрических линий. Технология базируется на измерении трех ортогональных компонент магнитного поля с помощью индукционных датчиков, установленных на специальной треноге. Благодаря этому нивелирование и ориентировка дат-

чиков на точке занимает 1-3 мин, в зависимости от опыта оператора. Время измерений на точке 15-20 мин, после чего возможен переход или переезд с помощью снегохода с прицепом на следующую точку. В качестве функций отклика среды рассчитываются компоненты действительного и мнимого векторов индукции (векторы Визе – Паркинсона или вектор Шмекера). Более удобен последний вариант, так как действительные векторы индукции в этом случае «смотрят» на проводник, что дает возможность быстро локализовать в плане проводящие аномалии.

*Поиски алмазов.* Данный вид работ включает поиски рудоконтролирующих и вмещающих разломов, рудных кустов и, наконец, трубок взрыва. Описанная технология может с успехом применяться для решения и этих задач. Например, карта действительных векторов Визе, построенная по данным полевых измерений компанией «Нордвест» на полигоне Хатат в Якутии, четко фиксирует две трубки небольших размеров.

Пятое поколение аппаратуры позволяет эффективно проводить 4D-электроразведку, т.е. контролировать по площади изменение электрических параметров среды, вызванных определенными геологическими или техногенными процессами. Важно, что процесс мониторинга среды может производиться в режиме реального времени, т.е. данные передаются с помощью электронной связи в единый сборный пункт, где их анализируют. На основании этого анализа можно оперативно принимать управляющие решения. Для передачи данных стандартные приборы оборудуют модемами, а для связи с центральным пунктом (он может быть удален на многие километры от пунктов записи информации) можно использовать:

- двухжильные провода;
- оптоволоконные кабели;
- обычную телефонную линию;
- спутниковый телефон;
- радиоканал.

В Киргизии МТ-мониторинг проводится научной станцией ИВТАН с целью изучения изменений геодинамической обстановки.

В Японии МТ-мониторинг используется для прогноза землетрясений с 1996 г. С 1999 г. в Японии МТ-мониторинг применяют для оптимизации режима откачки горячей воды и закачки холодной на гидро-термальной электростанции.

Эволюция аппаратуры, программного обеспечения и полевых технологий продолжается, и в рамках пятого поколения аппаратуры появилась телеметрическая система, базирующаяся на приборе V8, который кроме своих восьми каналов может управлять работой и получать данные с нескольких MTU-приборов. Кроме того, прибор V8, имеющий два процессора, видимый при ярком солнце широкотемпературный цветной дисплей, полную влагозащищенную клавиатуру, может реализовать практически все наземные электроразведочные методы и производить обработку данных в режиме реального времени.

Таким образом, современные тенденции развития аппаратуры МТ/АМТ следующие:

- постоянное совершенствование MTU-приборов и программного обеспечения к ним;
- создание телеметрической многофункциональной аппаратуры на базе приборов пятого поколения;
- совершенствование программного обеспечения для обработки, редактирования, анализа и интерпретации данных, расширение частотного диапазона, вычисление в два раза большего числа частот;
- совершенствование программ интерпретации данных, в первую очередь 3D-инверсии;
- создание баз данных, в рамках которых возможна обработка, редактирование, анализ данных, однометодная интерпретация, сопоставление с данными других методов, геологической информацией; комплексная интерпретация составляет единый замкнутый процесс.

Реализация этих направлений развития уже в ближайшем будущем позволяет ожидать:

1) продолжения процесса улучшения программного обеспечения для обработки и интерпретации;

2) повышения точности вычисляемых параметров;

3) лучшую 3D-инверсию;

4) лучшую визуализацию данных;

5) интеграцию данных электроразведки с другими геофизическими и геологическими данными на базе рабочих станций;

6) более широкое применение 3-компонентных измерений магнитных компонент МТ-поля;

7) прогрессирующее снижение стоимости полевых работ;

8) продолжение процесса миниатюризации аппаратуры и снижения удельных энергозатрат.

## Выводы

1. С 1997 г. электроразведка, и в первую очередь МТ/АМТ-технология, сделала огромный шаг вперед, что привело к значительно более широкому ее применению в наземной поисково-разведочной геофизике.

2. Электроразведка имеет наибольший среди геофизических методов неиспользованный потенциал развития, который может быть реализован на базе быстрого прогресса электроники и микропроцессорной техники.

3. Скорость реализации потенциала электроразведочных методов будет определяться вниманием нефтегазодобывающих компаний и их контракторов.